

<b>Requested document:</b>	<b><a href="#">JP2003130948 click here to view the pdf document</a></b>
----------------------------	---

## TARGET TRACKING APPARATUS

Patent Number:

Publication date: 2003-05-08

Inventor(s): YAMAYA AKIO; ITO MASAYOSHI; KOSUGE YOSHIO

Applicant(s): MITSUBISHI ELECTRIC CORP

Requested Patent: ☐ [JP2003130948](#)

Application Number: JP20010327896 20011025

Priority Number(s): JP20010327896 20011025

IPC Classification: G01S13/66

EC Classification:

Equivalents:

---

### Abstract

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To solve the problem that the number of phenomena to be calculated in reliability increases explosively when the number of targets in a cluster increases and arithmetic load at the time of calculation of reliability becomes extremely large. **SOLUTION:** The target tracking apparatus is equipped with a hypothesis reliability calculation part 21 calculating the forming propability of respective hypotheses as hypothesis reliability, a model reliability calculation part 22 for calculating probability allowing the motion of a wake to coincide with each of motion models as model reliability with respect to all of wakes included in all of clusters, a smooth processing part 23 calculating a smooth vector and a smooth error covariance matrix when motion is performed according to respective motion models under such a supposition that each wake is correlated with each observation vector in a gate at every motion model and a smooth integration processing part 24 for throwing the smooth vector and the smooth error covariance matrix into one with respect to each wake. A tracking result can be obtained in a practical arithmetic time while keeping highly accurate correlational performance and the following performance to a high movement target.

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-130948

(P2003-130948A)

(43) 公開日 平成15年5月8日 (2003.5.8)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>  
G 0 1 S 13/66

識別記号

F I  
C 0 1 S 13/66

テーマコード\* (参考)  
5 J 0 7 0

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 28 頁)

(21) 出願番号 特願2001-327896 (P2001-327896)

(22) 出願日 平成13年10月25日 (2001.10.25)

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 山家 明男

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(72) 発明者 系 正義

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(74) 代理人 10005/874

弁理士 曾我 道照 (外6名)

最終頁に続く

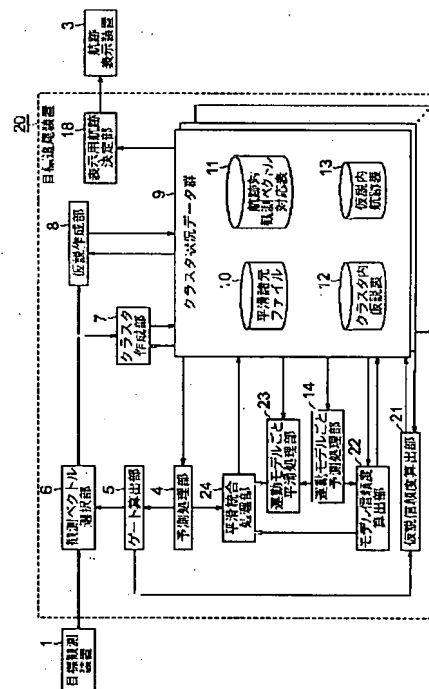
(54) 【発明の名称】 目標追尾装置

(57) 【要約】

【課題】 クラスタ内の目標数が増えると信頼度を算出すべき事象の数が爆発的に増加し信頼度算出時の演算負荷が非常に大きくなるという課題があった。

【解決手段】 各仮説の成立する確率を仮説信頼度として算出する仮説信頼度算出部21と、全クラスタに含まれる全航跡に対して、航跡の運動が各運動モデルに合致する確率をモデル信頼度として算出するモデル信頼度算出部22と、各航跡がゲート内の各観測ベクトルと相関するとの仮定の下で、それぞれの運動モデルに従って運動を行う場合の平滑ベクトル及び平滑誤差共分散行列を算出する運動モデルごと平滑処理部23と、各航跡に対して平滑ベクトル及び平滑誤差共分散行列を1つにまとめる平滑統合処理部24などを備えた。

【効果】 高精度な相関性能と高機動目標への追従性能とを保ったまま、実用的な演算時間で追尾結果を得ることができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 クラスタ毎に定義され、クラスタ内の各航跡に対する平滑ベクトル、平滑誤差共分散行列、及びモデル信頼度の値を格納する平滑諸元ファイル、クラスタ内の各航跡に対して航跡を構成する観測ベクトルを示した航跡対観測ベクトル対応表、クラスタ内の全ての仮説及び仮説信頼度を示したクラスタ内仮説表、並びにクラスタ内のそれぞれの仮説を構成する航跡を示した仮説内航跡表を有するクラスタ状況データ群と、

前記平滑諸元ファイルの平滑ベクトル、平滑誤差共分散行列、及びモデル信頼度に基づいて、全クラスタに含まれる全航跡に対して次の観測ベクトル入力時刻における予測ベクトル及び予測誤差共分散行列を算出する予測処理手段と、前記算出された予測ベクトル及び予測誤差共分散行列に基づいて、全クラスタに含まれる全航跡に対して観測ベクトルの存在期待領域であるゲートを算出するゲート算出手段と、

観測された観測ベクトル全体から前記航跡の各々に対し前記算出されたゲート内に存在する観測ベクトルを選択する観測ベクトル選択手段と、

前記観測ベクトル選択手段による選択結果、及び各クラスタに含まれる各航跡の前時刻までの観測ベクトルの構成に基づいて、前記航跡対観測ベクトル対応表を更新し、クラスタの統合、分離を行うことによってクラスタを構成するクラスタ作成手段と、

前記観測ベクトル選択手段による選択結果、及び各クラスタ内の前時刻までの仮説の状態に基づいて、現時刻の観測ベクトルに対応した新たな仮説を作成し、前記クラスタ内仮説表、及び前記仮説内航跡表を更新する仮説作成手段と、

前記ゲート算出手段からのゲート中心位置及び残差共分散行列、前記航跡対観測ベクトル対応表の各航跡のゲート内観測ベクトル、並びに前記クラスタ内仮説表の前時刻における仮説信頼度に基づいて、各仮説の成立する確率を仮説信頼度として算出して前記クラスタ内仮説表を更新する仮説信頼度算出手段と、

前記平滑諸元ファイルの平滑ベクトル、平滑誤差共分散行列、及びモデル信頼度に基づいて、全クラスタに含まれる全航跡に対して、あらかじめ設定した各運動モデルが真であるとの条件の下で、次の観測ベクトル入力時刻における運動モデルに基づいた予測ベクトル及び予測誤差共分散行列を算出する運動モデルごと予測処理手段と、

前記運動モデルごと予測処理手段からの各航跡の運動モデルに基づく予測ベクトル及び予測誤差共分散行列、前記平滑諸元ファイルの前時刻における各航跡のモデル信頼度、並びに前記航跡対観測ベクトル対応表の各航跡のゲート内観測ベクトルに基づいて、全クラスタに含まれる全航跡に対して、航跡の運動が各運動モデルに合致する確率をモデル信頼度として算出して前記平滑諸元ファ

イルを更新するモデル信頼度算出手段と、

前記運動モデルごと予測処理手段からの各航跡の運動モデルに基づく予測ベクトル及び予測誤差共分散行列、並びに前記航跡対観測ベクトル対応表の各航跡のゲート内観測ベクトルに基づいて、各航跡がゲート内の各観測ベクトルと相関するとの仮定の下で、それぞれの運動モデルに従って運動を行う場合の平滑ベクトル及び平滑誤差共分散行列を算出する運動モデルごと平滑処理手段と、前記予測処理手段からの予測ベクトル及び予測誤差共分散行列、前記モデル信頼度算出手段からのモデル信頼度、並びに前記運動モデルごと平滑処理手段からの運動モデルごとの平滑ベクトル及び平滑誤差共分散行列に基づいて、各航跡に対して平滑ベクトル及び平滑誤差共分散行列を1つにまとめて前記平滑諸元ファイルを更新する平滑統合処理手段と、

各クラスタ内に複数の仮説がある場合に、前記クラスタ内仮説表の仮説信頼度に基づいて最も信頼度の高い仮説を選択し、前記最も信頼度の高い仮説内の航跡の平滑ベクトル及び平滑誤差共分散行列を出力する表示用航跡決定手段とを備えたことを特徴とする目標追尾装置。

【請求項2】 前記運動モデルごと平滑処理手段を削除し、

前記平滑統合処理手段は、

前記運動モデルごと平滑処理手段からの運動モデルごとの平滑ベクトル及び平滑誤差共分散行列の代わりに、前記運動モデルごと予測処理手段からの運動モデルに基づく予測誤差共分散行列、並びに前記平滑諸元ファイルの前時刻における平滑ベクトル及び平滑誤差共分散行列を利用して、直接現時刻の平滑ベクトル及び平滑誤差共分散行列を算出することを特徴とする請求項1記載の目標追尾装置。

【請求項3】 前記予測処理手段による予測処理を行う前に、前記航跡対観測ベクトル対応表に基づいて、追尾初期状態にある航跡に対しては運動モデル数を1個、追尾維持状態にある航跡に対しては運動モデル数をN個に切り替える初期追尾判定手段をさらに備えたことを特徴とする請求項1又は2記載の目標追尾装置。

【請求項4】 観測雑音に乱されて前記算出されたモデル信頼度の精度が劣化していると判断する場合には前記算出されたモデル信頼度を修正して前記平滑諸元ファイルを更新するモデル信頼度修正手段をさらに備え、前記平滑統合処理手段は、前記モデル信頼度算出手段からのモデル信頼度の代わりに、前記モデル信頼度修正手段からの修正されたモデル信頼度を利用することを特徴とする請求項1又は2記載の目標追尾装置。

【請求項5】 あらかじめ与えられた各目標の位置、速度の初期推定値に基づいて、各目標ごとのクラスタを設置し前記クラスタ状況データ群の初期値を設定する初期値設定手段をさらに備え、

前記クラスタ作成部及び前記仮説作成部において新目標

の発生を考慮しないようにしたことを特徴とする請求項1又は2記載の目標追尾装置。

【請求項6】 前記表示用航跡決定手段の代わりに、前記平滑諸元ファイルからの各航跡の平滑ベクトル、平滑誤差共分散行列、及びモデル信頼度、並びに前記クラスタ内仮説表からの仮説信頼度に基づいて、クラスタごとに仮説を1つに統合し、追尾目標に対して1つの統合された平滑ベクトル、平滑誤差共分散行列、及びモデル信頼度を算出する仮説統合手段と、各クラスタごとに前記航跡対観測ベクトル対応表を既存航跡の初期値のみに戻し、前記平滑諸元ファイルの内容は前記仮説統合部からの既存航跡に対する平滑ベクトル、平滑誤差共分散行列、及びモデル信頼度で置き換え、前記統合された1つの仮説のみを持つように前記クラスタ内仮説表及び前記仮説内航跡表を更新する統合仮説設定手段を備えたことを特徴とする請求項5記載の目標追尾装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、航空機や船舶等の移動体を追尾対象とし、レーダ等のセンサから得られる移動体の位置の観測情報から、移動体の位置、速度等の運動諸元の真値を推定する目標追尾装置に関するものであって、特に、機動力の高い目標に対処し高精度の相関を行う目標追尾装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】センサによって得られる位置の観測値に基づいて複数の目標の追尾を行うために、各目標に対する前時刻の運動諸元の推定結果より、現時刻における位置を予測し、さらに各目標に対する現時刻の観測値の存在期待領域(以後、この領域をゲートと呼ぶ)を算出して、上記ゲート内に実際に取得された観測値と各目標との対応を判定する相関処理が行われる。

【0003】ここで、実際には、センサから目標の観測値以外にも誤信号が得られたり、逆に目標の観測に失敗して目標の観測値が得られなかったりすることがある。また、複数の目標が密集していると、一つの目標のゲート内に、複数の目標の観測値が得られる場合がある。このような状況においても、各目標を見失うことなく、正しく追尾を維持していくためには、どの観測値がどの目標のものであるかの相関処理を精度良く行う必要がある。

【0004】また、旋回運動を頻繁に行うような機動力の高い目標への追従性を高めるためには、N個の運動モデルを定義し、各運動モデルに基づく推定値を運動モデルの適合度(モデル信頼度)によって重みをつけて統合する方式が考えられる。

【0005】このような要求に応えるものとして、例えば図6のような目標追尾装置が提案されている。

【0006】従来の目標追尾装置について図面を参照し

ながら説明する。図6は、例えば『小菅義夫、辻道信吾、"最適クラスタによる旋回多目標用の航跡型MHT"、計測自動制御学会論文集、Vol. 36、No. 5、pp. 371-381(2000)』でM3航跡型MHT(M3=Multiple Maneuver Model、MHT=Multiple Hypothesis Tracking)として示された従来の目標追尾装置の構成を示す図である。

【0007】図6において、1は移動体の位置を観測するセンサである目標観測装置、2は目標追尾装置、3はディスプレイ上に目標の航跡を表示し移動体の位置や速度等の推定値を運用者に示すための航跡表示装置である。

【0008】また、同図において、4は全クラスタに含まれる全航跡に対して次の観測ベクトル入力時刻における予測ベクトルと予測誤差共分散行列を算出する予測処理部、5は全クラスタに含まれる全航跡に対して観測ベクトルの存在期待領域であるゲートを算出するゲート算出部、6は目標観測装置1より入力した観測ベクトル全体から上記航跡の各々に対しそのゲート内に存在する観測ベクトルを選択する観測ベクトル選択部、7は観測ベクトル選択部6の選択結果と各クラスタに含まれる各航跡の前時刻までの観測ベクトルの構成に基づいて、クラスタの統合や分離を行うことによってクラスタを構成するクラスタ構成部、8は観測ベクトル選択部6の出力と各クラスタ内の前時刻までの仮説の状態から、現時刻の観測ベクトルに対応した新たな仮説を作成する仮説作成部である。

【0009】また、図6の目標追尾装置2内において、9は各クラスタごとに定義されるクラスタ状況データ群であって、クラスタ状況データ群9内の10はクラスタ内の各航跡に対する平滑ベクトルと平滑誤差共分散行列とモデル信頼度の値を格納する平滑諸元ファイル、11はクラスタ内の各航跡に対して航跡を構成する観測ベクトルを示した航跡対観測ベクトル対応表、12はクラスタ内のすべての仮説を示したクラスタ内仮説表、13はクラスタ内のそれぞれの仮説を構成する航跡を示した仮説内航跡表である。

【0010】ここで、「航跡」とは、各サンプリング時刻で得られた観測ベクトルを高々1個選んだ観測ベクトルの時系列として定義され、航跡対観測ベクトル対応表11に記述される。また、「仮説」は、上記航跡の集合として定義され、仮説内航跡表13に記述される。

【0011】さらに、図6において、14は全クラスタに含まれる全航跡に対して、各運動モデルが真であるとの条件の下で、次の観測ベクトル入力時刻における予測ベクトルと予測誤差共分散行列を算出する運動モデルごと予測処理部、15は前時刻の仮説信頼度と運動モデルごと予測処理部14の出力である予測諸元とクラスタ状況データ群9からの各航跡と相関する観測ベクトルか

ら、各航跡の運動モデルの信頼度と各仮説の信頼度を算出するモデル信頼度および仮説信頼度算出部、16は運動モデルごと予測処理部14の出力である予測諸元とクラスタ状況データ群9からの観測ベクトルから、各仮説が真であり、さらにその仮説内の各航跡が各運動モデルに合致するとの条件の下で平滑ベクトルと平滑誤差共分散行列を算出する運動モデルおよび仮説ごと平滑処理部、17は運動モデルおよび仮説ごと平滑処理部16からの運動モデルおよび仮説に基づく平滑諸元を、モデル信頼度および仮説信頼度算出部15からの運動モデルおよび仮説が同時に成り立つ確率で統合して、各航跡について平滑諸元を1つにまとめる平滑統合処理である。

$$\mathbf{x}_k^l = \Phi_{k-1} \mathbf{x}_{k-1}^l + \mathbf{w}_{k-1}^l + \Gamma_{k-1}^l \mathbf{u}_{k-1}^l \quad (1)$$

- ▷  $\mathbf{x}_k^l$ : 時刻  $t_k$  における航跡  $l$  の状態ベクトルの真値
- ▷  $\Phi_{k-1}$ : 時刻  $t_{k-1}$  から  $t_k$  への状態ベクトルの推移行列
- ▷  $\mathbf{w}_{k-1}^l$ : 航跡  $l$  の駆動雑音ベクトル
- ▷  $\mathbf{u}_{k-1}^l$ : 定数加速度ベクトル
- ▷  $\Gamma_{k-1}^l$ : 定数加速度ベクトル  $\mathbf{u}_{k-1}^l$  の変換行列

【0016】状態ベクトルの真値は、例えば  $x-y-z$  直交座標系における位置と速度からなる場合、次式のようにかける。なお、 $T$  は行列の転置を意味する。

$$\mathbf{x}_k^l = [x_k^l \ y_k^l \ z_k^l \ \dot{x}_k^l \ \dot{y}_k^l \ \dot{z}_k^l]^T \quad (2)$$

【0018】状態ベクトルの推移行列は、次式で与えられる。 $I_n$  は  $n$  行  $n$  列の単位ベクトルである。

$$\Phi_{k-1} = \begin{bmatrix} I_3 & (t_k - t_{k-1}) \cdot I_3 \\ 0 \cdot I_3 & I_3 \end{bmatrix} \quad (3)$$

【0020】駆動雑音ベクトルは、次式を満たす6変量白色正規分布に従う。

$$E[\mathbf{w}_k^l] = \mathbf{0} \quad (4)$$

$$E[\mathbf{w}_k^l \mathbf{w}_h^{lT}] = \mathbf{Q}_k^l \quad (k=h \text{ のとき}), \quad 0 \cdot I_6 \quad (k \neq l \text{ のとき}) \quad (5)$$

【0022】定数加速度ベクトルは、以下のように  $N$  個設定する。これにより運動モデルが  $N$  個並列に設定される。

【0023】

【数5】

$$\mathbf{u}_k^l \in \{\alpha_i | i=1, 2, \dots, N\} \quad (6)$$

【0024】図7は、定数加速度ベクトルを説明する図である。

【0025】図7において、 $O_1$  は航跡1の定数加速度ベクトルを設定する座標  $x1-y1-z1$  の原点である。本座標は、例えば、 $x1$  軸方向を航跡1の進行方向（速度ベクトル方向）、 $y1$  軸方向を水平面に平行な面内で速度ベクトルに垂直で右手方向、 $z1$  軸方向を速度

【0012】またさらに、図6において、18は各クラス内に複数の仮説がある場合に、最も信頼度の高い仮説を選択するなどして各追尾目標の位置、速度等の推定値を決定する表示用航跡決定部である。

【0013】動作を説明する前に、目標追尾装置2に実装された追尾アルゴリズムの理論的な前提となる運動モデルおよび観測モデルについて述べる。

【0014】航跡  $l$  ( $l=1, 2, \dots, L$ ) の運動モデルを次式で定義する。

【0015】

【数1】

【0017】

【数2】

【0019】

【数3】

【0021】

【数4】

ベクトルに垂直で上向き、航跡1の位置を原点とする。

【0026】さらに、同図において、 $\alpha_1$  は  $y1$  軸正方向の定数加速度ベクトル（左旋回モデル）、 $\alpha_2$  は  $y1$  軸負方向の定数加速度ベクトル（右旋回モデル）、 $\alpha_3$  は  $x1$  軸正方向の定数加速度ベクトル（加速モデル）、 $\alpha_4$  は  $x1$  軸負方向の定数加速度ベクトル（減速モデル）、 $\alpha_5$  は  $z1$  軸正方向の定数加速度ベクトル（上昇モデル）、 $\alpha_6$  は  $z1$  軸負方向の定数加速度ベクトル（下降モデル）である。この他に、加速度0の定数加速度ベクトル  $\alpha_7$ （等速直線運動モデル）を考えた運動モデルの場合モデル数  $N$  は7となる。

【0027】定数加速度ベクトルの変換行列  $\Gamma$  は、次式のように表す。 $F^1_k$  は定数加速度ベクトルを設定した座標系から  $x-y-z$  直交座標系への変換行列である。

【0028】

【数6】

$$I_{k-1}^l = \left[ \frac{(t_k - t_{k-1})^2}{2} \cdot I_3 \right] F_k^l \quad (7)$$

【0029】サンプリング時刻 $t_k$ において、式(8)が真である(航跡1の運動モデルが $a^1$ である)との仮説を式(9)で表す。

【0030】

【数7】

$$u_{k-1}^l = \alpha_{a^l} \quad (a^l = 1, 2, \dots, N) \quad (8)$$

$$\Psi_{k,a^l}^l \quad (a^l = 1, 2, \dots, N) \quad (9)$$

【0031】なお、 $L$ 個の全航跡に対する運動モデルの仮説を次式で表す。

【0032】

【数8】

$$\Psi^{k,a} = [\Psi_{k,a^1}^1, \Psi_{k,a^2}^2, \dots, \Psi_{k,a^L}^L], \quad a = 1, 2, \dots, N^L \quad (10)$$

$a = 1, 2, \dots, N^L$  は  $a^l = 1, 2, \dots, N (l = 1, 2, \dots, L)$  すなわち  $L$  個の航跡の運動モデルの組み合わせの略記である。

【0033】運動モデルの推移にマルコフ性を仮定する。すなわち、サンプリング時刻 $t_k$ における運動モデルは、サンプリング時刻 $t_{k-1}$ の運動モデルにより決まり、サンプリング時刻 $t_{k-2}$ までの運動モデルには依存しないと仮定する。航跡1の運動モデルの推移確率を次の式(11)の意味で設定する。また、航跡全体に対する運動モデルの推移確率を次の式(12)で表す。

$$P_{a^l, \nu}^l = \Pr[\Psi_{k,a^l}^l | \Psi_{k-1,\nu}^l] \quad (11)$$

$$P^{ab} = \Pr[\Psi^{k,a} | \Psi^{k-1,b}] \quad (12)$$

【0035】運動モデルは、航跡間で独立、すなわち、次式が成立するとする。

【0036】

【数10】

【0034】

【数9】

$$P^{ab} = \prod_{l=1}^L P_{a^l, \nu}^l \quad (13)$$

ここで、 $b$  は  $a$  と同様で、 $\nu = 1, 2, \dots, N (l = 1, 2, \dots, L)$  の略記である。

【0037】目標観測装置1による、航跡1よりの探知データである観測ベクトルを表現した観測モデルを次式で定義する。なお、観測ベクトルは、時刻 $t_k$ において、一般的には複数個( $j = 1, 2, \dots$ )得られる

とする。

【0038】

【数11】

$$z_{k,j} = H z_k^1 + v_{k,j} \quad (14)$$

$z_k$ : 時刻 $t_k$ におけるx-y-z直交座標による観測ベクトル

$H$ : 観測行列で  $H = [I_3 \ 0 \cdot I_3]$

$v_k$ : 観測雑音ベクトル

【0039】観測雑音ベクトルは、次式を満たす3変量白色正規分布に従う。

【0040】

【数12】

$$E[v_{k,j}] = 0 \quad (15)$$

$$E[v_{k,j} v_{k,h}^T] = R_{k,j} \quad (k=h \text{ のとき}), \quad 0 \cdot I_3 \quad (k \neq h \text{ のとき}) \quad (16)$$

【0041】時刻 $t_k$ までに得られた観測ベクトル全体の集合を $Z^k$ と表す。 $M^k$ を $Z^k$ に対応する時刻 $t_k$ までの観測ベクトル数の情報とする。

アソン分布に従うとし、時刻 $t_k$ における単位体積あたりの平均をそれぞれ $\beta_{NT}^k$ 、 $\beta_{FT}^k$ と設定する。

【0043】つぎに、従来の目標追尾装置の動作について図面を参照しながら説明する。

【0044】時刻 $t_k$ において、目標観測装置1から観測ベクトル $z_{k,j}$  ( $j = 1, 2, \dots$ )が入力される

【0042】なお、新目標および誤信号(クラッタなどの追尾目標以外からの信号)は、空間に一様分布し、新目標及び誤信号から得られる観測ベクトルの個数は、ポ

と、予測処理部4がクラスタ状況データ群9の平滑諸元  
ファイル10よりすべての航跡に対する前時刻 $t_{k-1}$ の  
平滑ベクトルと平滑誤差共分散行列とモデル信頼度を読  
み出し、次式に従って、各航跡 $l$ の現時刻 $t_k$ に対する

予測ベクトルと予測誤差共分散行列を算出する。

【0045】

【数13】

$$\hat{x}_{k|k-1}^l = E \left[ x_k^l | Z^{k-1}, M^{k-1} \right] = \Phi_{k-1} \hat{x}_{k-1|k-1}^l + \Gamma_{k-1}^l \hat{u}_{k-1}^l \quad (17)$$

$$\begin{aligned} P_{k|k-1}^l &= E \left[ \left( x_k^l - \hat{x}_{k|k-1}^l \right) \left( x_k^l - \hat{x}_{k|k-1}^l \right)^T | Z^{k-1}, M^{k-1} \right] \\ &= \Phi_{k-1} P_{k-1|k-1}^l \Phi_{k-1}^T + Q_{k-1}^l \\ &\quad + \sum_{a'=1}^N \sum_{b'=1}^N P_{a'b'}^l \beta_{k-1,b'}^l \Gamma_{k-1}^l \left( \alpha_{a'} - \hat{u}_{k-1}^l \right) \left( \alpha_{a'} - \hat{u}_{k-1}^l \right)^T \Gamma_{k-1}^{lT} \end{aligned} \quad (18)$$

ただし、

$$\hat{u}_{k-1}^l = \sum_{a'=1}^N \Pr \left[ \Psi_{k,a'}^l | Z^{k-1}, M^{k-1} \right] \alpha_{a'} = \sum_{a'=1}^N \sum_{b'=1}^N P_{a'b'}^l \beta_{k-1,b'}^l \alpha_{a'} \quad (19)$$

- $\hat{x}_{k|k-1}^l$  : 現時刻  $t_k$  における航跡  $l$  の予測ベクトル
- $\hat{x}_{k-1|k-1}^l$  : 前時刻  $t_{k-1}$  における航跡  $l$  の平滑ベクトル
- $\hat{u}_{k-1}^l$  : 航跡  $l$  の加速度ベクトルの事前推定値
- $P_{k|k-1}^l$  : 現時刻  $t_k$  における航跡  $l$  の予測誤差共分散行列
- $P_{k-1|k-1}^l$  : 前時刻  $t_{k-1}$  における航跡  $l$  の平滑誤差共分散行列
- $\beta_{k-1,b'}^l$  : 前時刻  $t_{k-1}$  における航跡  $l$  の運動モデル  $b'$  のモデル信頼度

【0046】次に、ゲート算出部5が、各航跡の上記予  
測ベクトルと予測誤差共分散行列を入力とし、また目標  
観測装置1による時刻 $t_k$ の観測ベクトルの観測誤差共  
分散行列を設定して、各航跡対応の観測ベクトルの存在

期待領域であるゲートを算出する。

【0047】

【数14】

$$\hat{z}_{k|k-1}^l = H \hat{x}_{k|k-1}^l \quad (20)$$

$$S_{k,j}^l = H P_{k|k-1}^l H^T + R_{k,j} \quad (21)$$

- ▷  $\hat{z}_{k|k-1}^l$  : 時刻  $t_k$  における航跡  $l$  の予測位置ベクトル (ゲート中心)
- ▷  $\hat{x}_{k|k-1}^l$  : 時刻  $t_k$  における航跡  $l$  の予測ベクトル
- ▷  $S_{k,j}^l$  : 残差共分散行列
- ▷  $P_{k|k-1}^l$  : 時刻  $t_k$  における航跡  $l$  の予測誤差共分散行列
- ▷  $R_{k,j}$  : 観測ベクトル  $\hat{z}_{k,j}$  に対応する観測誤差共分散行列

【0048】次に、観測ベクトル選択部6が、各航跡ご  
とにその航跡のゲート内に存在するすべての観測ベクト  
ルを選びだすことにより、各航跡に相関可能な観測ベク  
トルを決定する。すなわち、各航跡 $l$ に対して次式を満

たす観測ベクトルを選択する。

【0049】

【数15】

$$(\hat{z}_{k,j} - \hat{z}_{k|k-1}^l)^T S_{k,j}^{-1} (\hat{z}_{k,j} - \hat{z}_{k|k-1}^l) \leq d \quad (22)$$

▷  $\hat{z}_{k,j}$ : 観測ベクトル

▷  $\hat{z}_{k|k-1}^l$ : 時刻  $t_k$  における航跡  $l$  の予測位置ベクトル (ゲート中心)

▷  $S_{k,j}^l$ : 残差共分散行列

▷  $d$ : ゲートサイズパラメータ (自由度 3 のカイ二乗分布より設定する)

【0050】次に、クラスタ作成部 7 では、上記観測ベクトル選択部 6 より送られてくる選択結果と前時刻までに作成された航跡 (既存航跡と呼ぶ) を基に、まず、航跡を更新する。すなわち、既存航跡と選択結果であるゲート内に得られた各観測ベクトルの組み合わせにより既存航跡を更新し、また、観測ベクトルを現時刻で新たに現れた目標と見なした新航跡も作成する。なお、新航跡も次時刻では既存航跡として扱われる。

【0051】クラスタ作成部 7 では、さらに、以下のクラスタの定義に従って既存クラスタの再構成および新クラスタの作成を行う。すなわち、次に示す 2 つの基準 (A) 及び (B) に従い、全航跡を複数の集合に分割してこの各集合をクラスタと呼ぶ。クラスタ作成結果は、クラスタ状況データ群 9 に反映させる。

$$Z_k = \{\hat{z}_{k,1}, \hat{z}_{k,2}, \dots, \hat{z}_{k,m_k}\} \quad (23)$$

【0056】次に、仮説作成部 8 が、各クラスタ内の前時刻の仮説を現時刻の観測ベクトルに対応した新たな仮説に更新するための処理を行う。現時刻の仮説は前時刻の仮説を拡張することによってできる。一般に、前時刻の 1 つの仮説から複数の仮説が作成される。

【0057】まず、前時刻の仮説  $X^{k-1,r}$  に含まれる全航跡と、観測ベクトル選択部 6 で得られたこれらの航跡と相関の可能性のある観測ベクトルの選択結果を用いて、前記選択された観測ベクトルに対して、それぞれ新航跡であるか誤信号であるか相関の可能性のある既存航跡であるかのいずれかを割り当てた相関仮説  $H^{k,s_r}$  ( $s_r = 1, 2, \dots$ ) を可能な限り作成する。このとき、相関仮説では 1 つの既存航跡には高々 1 つの相関可能性のある観測ベクトルが割り当てられるようにする。

【0058】次に、仮説作成部 8 は、前時刻の仮説  $X^{k-1,r}$  と  $X^{k-1,r}$  から作成した相関仮説  $H^{k,s_r}$  とを組み合

【0052】(A) 航跡 T1 と航跡 T2 が、過去から現時刻に至るまで少なくとも 1 個の観測ベクトルを共有する場合、航跡 T1 と航跡 T2 は同一クラスタとする。

【0053】(B) 航跡 T1 と航跡 T2 が同一クラスタで、かつ航跡 T2 と航跡 T3 が同一クラスタの場合、航跡 T1 と航跡 T3 は同一クラスタである。

【0054】なお、クラスタに分けられた航跡単位で独立に以後の処理を実行することができる。現時刻  $t_k$  において、あるクラスタ内の全航跡 ( $L$  個とする) に対して観測ベクトル選択部 6 で選択された観測ベクトルの集合を次のように表す。

【0055】

【数 16】

わせて拡張し、現時刻の仮説  $X^{k,i}$  を作成する。この結果は、クラスタ状況データ群 9 に反映される。

【0059】このように、この目標追尾装置 2 では、各仮説が次の時刻でさらに複数の仮説に拡張されていき、仮説の数が次第に増大していく。ただし、各時刻で成立確率 (信頼度) の低い仮説を削除することで装置全体の処理規模を一定の範囲に保つことも可能である。

【0060】次に、運動モデルごと予測処理部 14 が、クラスタ状況データ群 9 の平滑諸元ファイル 10 より、すべての航跡に対する前時刻  $t_{k-1}$  の平滑ベクトルと平滑誤差共分散行列とモデル信頼度を読み出し、次式に従って、現時刻  $t_k$  に対する各航跡の各運動モデルに基づく予測ベクトルと予測誤差共分散行列を算出する。

【0061】

【数 17】



$$\hat{x}_{k|k-1,a^l}^l = E \left[ x_k^l | \Psi_{k,a^l}^l, Z^{k-1}, M^{k-1} \right] = \Phi_{k-1} \hat{x}_{k-1|k-1}^l + \Gamma_{k-1}^l \alpha_{a^l}^l \quad (24)$$

$$\begin{aligned} P_{k|k-1}^l = P_{k|k-1,a^l}^l &= E \left[ \left( x_k^l - \hat{x}_{k|k-1,a^l}^l \right) \left( x_k^l - \hat{x}_{k|k-1,a^l}^l \right)^T | \Psi_{k,a^l}^l, Z^{k-1}, M^{k-1} \right] \\ &= \Phi_{k-1} P_{k-1|k-1}^l \Phi_{k-1}^T + Q_{k-1}^l \end{aligned} \quad (25)$$

- ▷  $\hat{x}_{k|k-1,a^l}^l$  : 現時刻  $t_k$  における航跡  $l$  の運動モデル  $a^l$  に基づく予測ベクトル
- ▷  $\hat{x}_{k-1|k-1}^l$  : 前時刻  $t_{k-1}$  における航跡  $l$  の平滑ベクトル
- ▷  $\alpha_{a^l}^l$  : 運動モデル  $a^l$  の定数加速度ベクトル
- ▷  $P_{k|k-1}^l = P_{k|k-1,a^l}^l$  : 現時刻  $t_k$  における航跡  $l$  の運動モデル  $a^l$  に基づく予測誤差共分散行列  
(ただし, 運動モデルによらない値となる)
- ▷  $P_{k-1|k-1}^l$  : 前時刻  $t_{k-1}$  における航跡  $l$  の平滑誤差共分散行列

【0062】モデル信頼度および仮説信頼度算出部15において、運動モデルごと予測処理部14から運動モデルに基づく予測ベクトルと予測誤差共分散行列、クラスタ状況データ群9から各クラスタ内の仮説情報、および平滑諸元ファイル10から各航跡  $l$  の前時刻  $t_{k-1}$  のモデル信頼度を入力として、時刻  $t_k$  までの観測情報に基

づいた、クラスタ内の仮説  $X^{k,i}$  と全航跡の運動モデル仮説  $\Psi^{k,a}$ 、 $\Psi^{k-1,b}$  が同時に成り立つ確率を次式で算出する。

【0063】

【数18】

$$\beta_{k,i}^{a,b} = \Pr[X^{k,i}, \Psi^{k,a}, \Psi^{k-1,b} | Z^k, M^k] = \frac{\gamma_{k,i}^{a,b}}{\sum_{a=1}^{N_k^L} \sum_{b=1}^{N_k^L} \gamma_{k,i}^{a,b}} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} \gamma_{k,i}^{a,b} = & (P_D)^{N_{DT,r}^{k,a}} (1 - P_D P_{G_k})^{N_{TGT}^{k-1,r} - N_{DT,r}^{k,a}} (\beta_{FT}^k)^{N_{FT,r}^{k,a}} (\beta_{NT}^k)^{N_{NT,r}^{k,a}} P^{ab} \beta_{k-1,r}^b \\ & \times \prod_{j=1}^{N_{DT,r}^{k,a}} g(\underline{z}_{k,j}, \underline{z}_{k|k-1,a}^{l_j}, \hat{\underline{S}}_{k,j}^{l_j}) \end{aligned} \quad (27)$$

- $\beta_{k,i}^{a,b}$ : 仮説  $X^{k,i}$  と運動モデル仮説  $\Psi^{k,a}$ ,  $\Psi^{k-1,b}$  が同時に成り立つ確率
- $X^{k,i}$ : 前時刻  $t_{k-1}$  の仮説  $X^{k-1,r}$  を相関仮説  $H_r^{k,a}$  で拡張してできた仮説
- $\beta_{FT}^k$ : 単位体積あたりの誤信号発生数の平均
- $\beta_{NT}^k$ : 単位体積あたりの新目標発生数の平均
- $P_D$ : 目標観測装置 1 の探知確率
- $P_{G_k}$ : ゲートサイズパラメータ  $d$  より求まる, 対象航跡がゲート内に存在する確率
- $g(\underline{z}; \underline{a}, A)$ : 平均  $\underline{a}$ , 共分散行列  $A$  の 3 変量正規分布の  $\underline{z}$  における確率密度関数
- $N_{FT,r}^{k,a}$ : 相関仮説  $H_r^{k,a}$  において誤信号を探知したものとされた観測ベクトル数
- $N_{NT,r}^{k,a}$ : 相関仮説  $H_r^{k,a}$  において新航跡を探知したものとされた観測ベクトル数
- $N_{DT,r}^{k,a}$ : 相関仮説  $H_r^{k,a}$  において既存航跡を探知したものとされた観測ベクトル数
- $N_{TGT}^{k-1,r}$ : 仮説  $X^{k-1,r}$  に含まれる航跡の数 (既存航跡数)
- $\beta_{k-1,r}^b$ : 仮説  $X^{k-1,r}$  に含まれる全航跡の運動モデル仮説  $\Psi^{k-1,b}$  の信頼度
- $\underline{z}_{k,j}$  ( $j = 1, 2, \dots, N_{DT,r}^{k,a}$ ): 相関仮説  $H_r^{k,a}$  において既存航跡より探知されたとされた観測ベクトル
- $l_j$ : 観測ベクトル  $\underline{z}_{k,j}$  と相関する航跡

ただし,

$$\hat{\underline{z}}_{k|k-1,a}^l = H \hat{\underline{x}}_{k|k-1,a}^l \quad (28)$$

$$\hat{\underline{S}}_{k,j}^l = H P_{k|k-1,a}^l H^T + R_{k,j} \quad (29)$$

- $\hat{\underline{x}}_{k|k-1,a}^l$ : 時刻  $t_k$  における航跡  $l$  の運動モデル  $a^l$  に基づく予測ベクトル
- $P_{k|k-1,a}^l$ : 時刻  $t_k$  における航跡  $l$  の運動モデル  $a^l$  に基づく予測誤差共分散行列 (ただし, 運動モデルによらない値である)

【0064】続いて、上記信頼度を用いて以下の信頼度を算出する。

【0065】

【数19】

$$\beta_{k,i}^a = \Pr[X^{k,i}, \Psi^{k,a} | Z^k, M^k] = \sum_{b=1}^{N^L} \beta_{k,i}^{a,b} \quad (i = 1, 2, \dots, I_k, a = 1, 2, \dots, N^L) \quad (30)$$

$$\beta_{k,i,a'}^l = \Pr[X^{k,i}, \Psi_{k,a'}^l | Z^k, M^k] = \sum_{\substack{l'=1 \\ l' \neq l}}^L \sum_{a''=1}^N \beta_{k,i}^{a'',l'} \quad (i = 1, 2, \dots, I_k, a' = 1, 2, \dots, N) \quad (31)$$

$$\beta_k^a = \Pr[\Psi^{k,a} | Z^k, M^k] = \sum_{i=1}^{I_k} \sum_{b=1}^{N^L} \beta_{k,i}^{a,b} \quad (a = 1, 2, \dots, N^L) \quad (32)$$

$$\beta_{k,a'}^l = \Pr[\Psi_{k,a'}^l | Z^k, M^k] = \sum_{i=1}^{I_k} \beta_{k,i,a'}^l \quad (a' = 1, 2, \dots, N) \quad (33)$$

$$\beta_{k,i} = \Pr[X^{k,i} | Z^k, M^k] = \sum_{a'=1}^N \beta_{k,i,a'}^l \quad (i = 1, 2, \dots, I_k) \quad (34)$$

- $\beta_{k,i}^a$  : 仮説  $X^{k,i}$  およびクラスタ内の全航跡の運動モデル仮説  $\Psi^{k,a}$  が真である確率
- $\beta_{k,i,a'}^l$  : 仮説  $X^{k,i}$  および航跡  $l$  の運動モデル仮説  $\Psi_{k,a'}^l$  が真である確率
- $\beta_k^a$  : クラスタ内の全航跡の運動モデル仮説  $\Psi^{k,a}$  が真である確率
- $\beta_{k,a'}^l$  : 航跡  $l$  の運動モデル仮説  $\Psi_{k,a'}^l$  が真である確率 (モデル信頼度)
- $\beta_{k,i}$  : 仮説  $X^{k,i}$  が真である確率 (仮説信頼度)

【0066】モデル信頼度および仮説信頼度算出部15は、上記各種信頼度を算出後、各仮説の仮説信頼度をクラスタ状況データ群9のクラスタ内仮説表12に記録し、各航跡のモデル信頼度をクラスタ状況データ群9の平滑諸元ファイル10に記録する。

【0067】次に、運動モデルおよび仮説ごと平滑処理部16において、クラスタ状況データ群9の航跡対観測ベクトル対応表11より航跡  $l$  の現時刻  $t_k$  における観

測ベクトルと、運動モデルごと平滑処理部14より航跡  $l$  の運動モデルに基づく予測ベクトルおよび予測誤差共分散行列を入力し、航跡  $l$  の仮説および運動モデルに基づく平滑ベクトル、平滑誤差共分散行列を次式に従い算出する。

【0068】

【数20】

$$\hat{x}_{k|k,i,a'}^l = E[x_k^l | X^{k,i}, \Psi_{k,a'}^l, Z^k, M^k] = \hat{x}_{k|k-1,a'}^l + K_{k,i,a'}^l [z_{k,j} - H \hat{x}_{k|k-1,a'}^l] \quad (35)$$

$$\begin{aligned} P_{k|k,i,a'}^l &= E[(x_k^l - \hat{x}_{k|k,i,a'}^l)(x_k^l - \hat{x}_{k|k,i,a'}^l)^T | X^{k,i}, \Psi_{k,a'}^l, Z^k, M^k] \\ &= P_{k|k-1,a'}^l - K_{k,i,a'}^l P_{k|k-1,a'}^l \end{aligned} \quad (36)$$

$$K_{k,i,a'}^l = P_{k|k-1,a'}^l H^T [H P_{k|k-1,a'}^l H^T + R_{k,j}]^{-1} \quad (37)$$

- $\hat{x}_{k|k,i,a'}^l$  : 現時刻  $t_k$  における仮説  $X^{k,i}$  および運動モデル  $a'$  に基づく航跡  $l$  の平滑ベクトル
- $\hat{x}_{k|k-1,a'}^l$  : 現時刻  $t_k$  における運動モデル  $a'$  に基づく航跡  $l$  の予測ベクトル
- $K_{k,i,a'}^l$  : ゲイン行列
- $z_{k,j}$  : 仮説  $X^{k,i}$  において航跡  $l$  から得られたとされた観測ベクトル
- $P_{k|k,i,a'}^l$  : 現時刻  $t_k$  における仮説  $X^{k,i}$  および運動モデル  $a'$  に基づく航跡  $l$  の平滑誤差共分散行列
- $P_{k|k-1,a'}^l$  : 現時刻  $t_k$  における運動モデル  $a'$  に基づく航跡  $l$  の予測誤差共分散行列 (ただし、運動モデルにはよらない値である)

【0069】次に、平滑統合処理部17において、運動モデルおよび仮説ごと平滑処理部16より仮説および運動モデルに基づく平滑ベクトルと平滑誤差共分散行列を

入力し、モデル信頼度および仮説信頼度算出部15より仮説および各航跡の運動モデルが真である確率を入力し、各航跡の平滑ベクトルおよび平滑誤差共分散行列を

次式に従い算出する。算出された平滑ベクトルおよび平滑誤差共分散行列は、クラスタ状況データ群9の平滑諸元ファイル10に記録される。

【0070】

【数21】

$$\hat{x}_{k|k}^l = E[x_k^l | Z^k, M^k] = \sum_{i=1}^{I_k} \sum_{a^l=1}^N \beta_{k,i,a^l}^l \hat{x}_{k,i,a^l}^l \quad (38)$$

$$\begin{aligned} P_{k|k}^l &= E[(x_k^l - \hat{x}_{k|k}^l)(x_k^l - \hat{x}_{k|k}^l)^T | Z^k, M^k] \\ &= \sum_{i=1}^{I_k} \sum_{a^l=1}^N \beta_{k,i,a^l}^l \left( P_{k,i,a^l}^l + (\hat{x}_{k,i,a^l}^l - \hat{x}_{k|k}^l)(\hat{x}_{k,i,a^l}^l - \hat{x}_{k|k}^l)^T \right) \end{aligned} \quad (39)$$

- $\hat{x}_{k|k}^l$  : 現時刻  $t_k$  における航跡  $l$  の平滑ベクトル
- $\hat{x}_{k,i,a^l}^l$  : 現時刻  $t_k$  における仮説  $X^{k,i}$  および運動モデル  $a^l$  に基づく航跡  $l$  の平滑ベクトル
- $\beta_{k,i,a^l}^l$  : 仮説  $X^{k,i}$  および運動モデル仮説  $\Psi_{k,a^l}^l$  が真である確率
- $P_{k|k}^l$  : 現時刻  $t_k$  における航跡  $l$  の平滑誤差共分散行列
- $P_{k,i,a^l}^l$  : 現時刻  $t_k$  における仮説  $X^{k,i}$  および運動モデル  $a^l$  に基づく航跡  $l$  の平滑誤差共分散行列

【0071】次に、表示用航跡決定部18が、クラスタ状況データ群9のクラスタ内仮説表12に記録されている仮説信頼度を見て、最も仮説信頼度の高い仮説を採用することを決定し、その仮説内の航跡の平滑諸元を航跡表示装置3に出力する。

【0072】そして、航跡表示装置3は、入力された平滑諸元をディスプレイに出力する。

【0073】目標観測装置1で観測ベクトルが得られるたびに、上記一連の動作を追尾終了まで繰り返す。

【0074】

【発明が解決しようとする課題】上述したような従来の目標追尾装置では、モデル信頼度および仮説信頼度算出部15において相関仮説と各航跡の運動モデルが同時に成り立つ確率（信頼度）を全仮説および各航跡のとりうる運動モデルのすべての組み合わせに対して算出しているため、クラスタ内の目標数が増えると上記信頼度を算出すべき事象の数が爆発的に増加し信頼度算出時の演算負荷が非常に大きくなるという問題点があった。

【0075】この発明は、前述した問題点を解決するためになされたもので、機動性の高い目標への追従性能と精度の高い相関性能とを、実用的な演算負荷で実現することができる目標追尾装置を得ることを目的とする。

【0076】

【課題を解決するための手段】この発明の請求項1に係る目標追尾装置は、クラスタ毎に定義され、クラスタ内の各航跡に対する平滑ベクトル、平滑誤差共分散行列、及びモデル信頼度の値を格納する平滑諸元ファイル、クラスタ内の各航跡に対して航跡を構成する観測ベクトルを示した航跡対観測ベクトル対応表、クラスタ内の全ての仮説及び仮説信頼度を示したクラスタ内仮説表、並びにクラスタ内のそれぞれの仮説を構成する航跡を示した

仮説内航跡表を有するクラスタ状況データ群と、前記平滑諸元ファイルの平滑ベクトル、平滑誤差共分散行列、及びモデル信頼度に基づいて、全クラスタに含まれる全航跡に対して次の観測ベクトル入力時刻における予測ベクトル及び予測誤差共分散行列を算出する予測処理手段と、前記算出された予測ベクトル及び予測誤差共分散行列に基づいて、全クラスタに含まれる全航跡に対して観測ベクトルの存在期待領域であるゲートを算出するゲート算出手段と、観測された観測ベクトル全体から前記航跡の各々に対し前記算出されたゲート内に存在する観測ベクトルを選択する観測ベクトル選択手段と、前記観測ベクトル選択手段による選択結果、及び各クラスタに含まれる各航跡の前時刻までの観測ベクトルの構成に基づいて、前記航跡対観測ベクトル対応表を更新し、クラスタの統合、分離を行うことによってクラスタを構成するクラスタ作成手段と、前記観測ベクトル選択手段による選択結果、及び各クラスタ内の前時刻までの仮説の状態に基づいて、現時刻の観測ベクトルに対応した新たな仮説を作成し、前記クラスタ内仮説表、及び前記仮説内航跡表を更新する仮説作成手段と、前記ゲート算出手段からのゲート中心位置及び残差共分散行列、前記航跡対観測ベクトル対応表の各航跡のゲート内観測ベクトル、並びに前記クラスタ内仮説表の前時刻における仮説信頼度に基づいて、各仮説の成立する確率を仮説信頼度として算出して前記クラスタ内仮説表を更新する仮説信頼度算出手段と、前記平滑諸元ファイルの平滑ベクトル、平滑誤差共分散行列、及びモデル信頼度に基づいて、全クラスタに含まれる全航跡に対して、あらかじめ設定した各運動モデルが真であるとの条件の下で、次の観測ベクトル入力時刻における運動モデルに基づいた予測ベクトル及び予測誤差共分散行列を算出する運動モデルごと予測

処理手段と、前記運動モデルごと予測処理手段からの各航跡の運動モデルに基づく予測ベクトル及び予測誤差共分散行列、前記平滑諸元ファイルの前時刻における各航跡のモデル信頼度、並びに前記航跡対観測ベクトル対応表の各航跡のゲート内観測ベクトルに基づいて、全クラスタに含まれる全航跡に対して、航跡の運動が各運動モデルに合致する確率をモデル信頼度として算出して前記平滑諸元ファイルを更新するモデル信頼度算出手段と、前記運動モデルごと予測処理手段からの各航跡の運動モデルに基づく予測ベクトル及び予測誤差共分散行列、並びに前記航跡対観測ベクトル対応表の各航跡のゲート内観測ベクトルに基づいて、各航跡がゲート内の各観測ベクトルと相関するとの仮定の下で、それぞれの運動モデルに従って運動を行う場合の平滑ベクトル及び平滑誤差共分散行列を算出する運動モデルごと平滑処理手段と、前記予測処理手段からの予測ベクトル及び予測誤差共分散行列、前記モデル信頼度算出手段からのモデル信頼度、並びに前記運動モデルごと平滑処理手段からの運動モデルごとの平滑ベクトル及び平滑誤差共分散行列に基づいて、各航跡に対して平滑ベクトル及び平滑誤差共分散行列を1つにまとめて前記平滑諸元ファイルを更新する平滑統合処理手段と、各クラスタ内に複数の仮説がある場合に、前記クラスタ内仮説表の仮説信頼度に基づいて最も信頼度の高い仮説を選択し、前記最も信頼度の高い仮説内の航跡の平滑ベクトル及び平滑誤差共分散行列を出力する表示用航跡決定手段とを備えたものである。

【0077】また、この発明の請求項2に係る目標追尾装置は、前記運動モデルごと平滑処理手段を削除し、前記平滑統合処理手段は、前記運動モデルごと平滑処理手段からの運動モデルごとの平滑ベクトル及び平滑誤差共分散行列の代わりに、前記運動モデルごと予測処理手段からの運動モデルに基づく予測誤差共分散行列、並びに前記平滑諸元ファイルの前時刻における平滑ベクトル及び平滑誤差共分散行列を利用して、直接現時刻の平滑ベクトル及び平滑誤差共分散行列を算出するものである。

【0078】また、この発明の請求項3に係る目標追尾装置は、前記予測処理手段による予測処理を行う前に、前記航跡対観測ベクトル対応表に基づいて、追尾初期状態にある航跡に対しては運動モデル数を1個、追尾維持状態にある航跡に対しては運動モデル数をN個に切り替える初期追尾判定手段をさらに備えたものである。

【0079】また、この発明の請求項4に係る目標追尾装置は、観測雑音に乱されて前記算出されたモデル信頼度の精度が劣化していると判断する場合には前記算出されたモデル信頼度を修正して前記平滑諸元ファイルを更新するモデル信頼度修正手段をさらに備え、前記平滑統合処理手段は、前記モデル信頼度算出手段からのモデル信頼度の代わりに、前記モデル信頼度修正手段からの修正されたモデル信頼度を利用するものである。

【0080】また、この発明の請求項5に係る目標追尾

装置は、あらかじめ与えられた各目標の位置、速度の初期推定値に基づいて、各目標ごとのクラスタを設置し前記クラスタ状況データ群の初期値を設定する初期値設定手段をさらに備え、前記クラスタ作成部及び前記仮説作成部において新目標の発生を考慮しないようにしたものである。

【0081】さらに、この発明の請求項6に係る目標追尾装置は、前記表示用航跡決定手段の代わりに、前記平滑諸元ファイルからの各航跡の平滑ベクトル、平滑誤差共分散行列、及びモデル信頼度、並びに前記クラスタ内仮説表からの仮説信頼度に基づいて、クラスタごとに仮説を1つに統合し、追尾目標に対して1つの統合された平滑ベクトル、平滑誤差共分散行列、及びモデル信頼度を算出する仮説統合手段と、各クラスタごとに前記航跡対観測ベクトル対応表を既存航跡の初期値のみに戻し、前記平滑諸元ファイルの内容は前記仮説統合部からの既存航跡に対する平滑ベクトル、平滑誤差共分散行列、及びモデル信頼度で置き換え、前記統合された1つの仮説のみを持つように前記クラスタ内仮説表及び前記仮説内航跡表を更新する統合仮説設定手段を備えたものである。

【0082】

【発明の実施の形態】実施の形態1. この発明の実施の形態1に係る目標追尾装置について図面を参照しながら説明する。図1は、この発明の実施の形態1に係る目標追尾装置の構成を示す図である。なお、各図中、同一符号は同一又は相当部分を示す。すなわち、従来例を示す図6と同様の構成部分は同じ符号を付してある。

【0083】図1において、1は移動体の位置を観測するセンサである目標観測装置、20は目標追尾装置、3はディスプレイ上に目標の航跡を表示し移動体の位置や速度等の推定値を運用者に示すための航跡表示装置である。

【0084】また、同図において、4は全クラスタに含まれる全航跡に対して次の観測ベクトル入力時刻における予測ベクトルと予測誤差共分散行列を算出する予測処理部（予測処理手段）、5は全クラスタに含まれる全航跡に対して観測ベクトルの存在期待領域であるゲートを算出するゲート算出部（ゲート算出手段）、6は目標観測装置1より入力した観測ベクトル全体から上記航跡の各々に対しそのゲート内に存在する観測ベクトルを選択する観測ベクトル選択部（観測ベクトル選択手段）である。

【0085】また、同図において、7は観測ベクトル選択部7の選択結果と各クラスタに含まれる各航跡の前時刻までの観測ベクトルの構成に基づいて、クラスタの統合や分離を行うことによってクラスタを構成するクラスタ作成部（クラスタ作成手段）、8は観測ベクトル選択部6の出力と各クラスタ内の前時刻までの仮説の状態から、現時刻の観測ベクトルに対応した新たな仮説を作成

する仮説作成部（仮説作成手段）である。

【0086】また、図1の目標追尾装置20において、9は各クラスタごとに定義されるクラスタ状況データ群であって、クラスタ状況データ群9内の10はクラスタ内の各航跡に対する「平滑ベクトル」と「平滑誤差共分散行列」と「モデル信頼度の値」を格納する平滑諸元ファイル、11はクラスタ内の各航跡に対して航跡を構成する観測ベクトルを示した航跡対観測ベクトル対応表、12はクラスタ内のすべての仮説を示したクラスタ内仮説表、13はクラスタ内のそれぞれの仮説を構成する航跡を示した仮説内航跡表である。

【0087】また、図1において、14は全クラスタに含まれる全航跡に対して、各運動モデルが真であるとの条件の下で、次の観測ベクトル入力時刻における予測ベクトルと予測誤差共分散行列を算出する運動モデルごと予測処理部（運動モデルごと予測処理手段）、18は各クラスタ内に複数の仮説がある場合に、最も信頼度の高い仮説を選択するなどして各追尾目標の位置、速度等の推定値を決定する表示用航跡決定部（表示用航跡決定手段）である。

【0088】さらに、図1において、21はゲート算出部5からゲート中心位置と残差共分散行列、クラスタ状況データ群9からの各航跡のゲート内観測ベクトルおよび前時刻における仮説信頼度を入力とし、各仮説の成立する確率を仮説信頼度として算出する仮説信頼度算出部（仮説信頼度算出手段）である。

【0089】さらに、図1において、22は全クラスタに含まれる全航跡に対して、クラスタ状況データ群9からの前時刻における各航跡のモデル信頼度と各航跡のゲート内観測ベクトルと、運動モデルごと予測処理部14から各航跡の運動モデルごとの予測ベクトルおよび予測

誤差共分散行列とを利用して、航跡の運動が各運動モデルに合致する確率をモデル信頼度として算出するモデル信頼度算出部（モデル信頼度算出手段）である。

【0090】さらに、図1において、23は運動モデルごと予測処理部14からの各航跡が各運動モデルに従う場合の運動モデルごと予測諸元と、クラスタ状況データ群9からの各航跡のゲート内観測ベクトルから、各航跡がゲート内の各観測ベクトルと相関するとの仮定の下で、それぞれの運動モデルに従って運動を行う場合の平滑ベクトルおよび平滑誤差共分散行列を算出する運動モデルごと平滑処理部（運動モデルごと平滑処理手段）である。

【0091】さらに、図1において、24は運動モデルごと平滑処理部23からの運動モデルごとの平滑諸元を、モデル信頼度算出部22からのモデル信頼度で重みをつけて統合することで、各航跡について平滑諸元を1つにまとめる平滑統合処理部（平滑統合処理手段）である。

【0092】つぎに、この実施の形態1に係る目標追尾装置の動作について図面を参照しながら説明する。

【0093】運動モデルおよび観測モデルは、従来例と同じ設定を使用する。時刻 $t_k$ において、目標観測装置1から観測ベクトル $z_{k,j}$  ( $j=1, 2, \dots$ )が入力されると、予測処理部4がクラスタ状況データ群9の平滑諸元ファイル10よりすべての航跡に対する前時刻 $t_{k-1}$ の平滑ベクトルと平滑誤差共分散行列とモデル信頼度を読み出し、次式に従って、各航跡1の現時刻 $t_k$ に対する予測ベクトルと予測誤差共分散行列を算出する。

【0094】

【数22】

$$\hat{x}_{k|k-1}^l = E \left[ x_k^l | Z^{k-1}, M^{k-1} \right] = \Phi_{k-1} \hat{x}_{k-1|k-1}^l + \Gamma_{k-1}^l \hat{u}_{k-1}^l \quad (40)$$

$$\begin{aligned} P_{k|k-1}^l &= E \left[ \left( x_k^l - \hat{x}_{k|k-1}^l \right) \left( x_k^l - \hat{x}_{k|k-1}^l \right)^T | Z^{k-1}, M^{k-1} \right] \\ &= \Phi_{k-1} P_{k-1|k-1}^l \Phi_{k-1}^T + Q_{k-1}^l \\ &\quad + \sum_{a'=1}^N \sum_{b'=1}^N P_{a'b'}^l \beta_{k-1,b'}^l \Gamma_{k-1}^l \left( \alpha_{a'} - \hat{u}_{k-1}^l \right) \left( \alpha_{a'} - \hat{u}_{k-1}^l \right)^T \Gamma_{k-1}^{lT} \end{aligned} \quad (41)$$

ただし、

$$\hat{u}_{k-1}^l = \sum_{a'=1}^N \Pr \left[ \Psi_{k,a'}^l | Z^{k-1}, M^{k-1} \right] \alpha_{a'} = \sum_{a'=1}^N \sum_{b'=1}^N P_{a'b'}^l \beta_{k-1,b'}^l \alpha_{a'} \quad (42)$$

- $\hat{x}_{k|k-1}^l$  : 現時刻  $t_k$  における航跡  $l$  の予測ベクトル
- $\hat{x}_{k-1|k-1}^l$  : 前時刻  $t_{k-1}$  における航跡  $l$  の平滑ベクトル
- $\hat{u}_{k-1}^l$  : 航跡  $l$  の加速度ベクトルの事前推定値
- $P_{k|k-1}^l$  : 現時刻  $t_k$  における航跡  $l$  の予測誤差共分散行列
- $P_{k-1|k-1}^l$  : 前時刻  $t_{k-1}$  における航跡  $l$  の平滑誤差共分散行列
- $\beta_{k-1,b'}^l$  : 前時刻  $t_{k-1}$  における航跡  $l$  の運動モデル  $b'$  のモデル信頼度

【0095】次に、ゲート算出部5が、各航跡の上記予測ベクトルと予測誤差共分散行列を入力とし、また目標観測装置1による時刻  $t_k$  の観測ベクトルの観測誤差共分散行列を設定して、各航跡対応の観測ベクトルの存在

期待領域であるゲートを算出する。

【0096】

【数23】

$$\hat{z}_{k|k-1}^l = H \hat{x}_{k|k-1}^l \quad (43)$$

$$S_{k,j}^l = H P_{k|k-1}^l H^T + R_{k,j} \quad (44)$$

- ▷  $\hat{z}_{k|k-1}^l$  : 時刻  $t_k$  における航跡  $l$  の予測位置ベクトル (ゲート中心)
- ▷  $\hat{x}_{k|k-1}^l$  : 時刻  $t_k$  における航跡  $l$  の予測ベクトル
- ▷  $S_{k,j}^l$  : 残差共分散行列
- ▷  $P_{k|k-1}^l$  : 時刻  $t_k$  における航跡  $l$  の予測誤差共分散行列
- ▷  $R_{k,j}$  : 観測ベクトル  $z_{k,j}$  に対応する観測誤差共分散行列

【0097】次に、観測ベクトル選択部6が、各航跡ごとにその航跡のゲート内に存在するすべての観測ベクトルを選びだすことにより、各航跡に相関可能な観測ベクトルを決定する。すなわち、各航跡  $l$  に対して次式を満

たす観測ベクトルを選択する。

【0098】

【数24】

$$\left( z_{k,j} - \hat{z}_{k|k-1}^l \right)^T S_{k,j}^{l-1} \left( z_{k,j} - \hat{z}_{k|k-1}^l \right) \leq d \quad (45)$$

- $z_{k,j}$  : 観測ベクトル
- $\hat{z}_{k|k-1}^l$  : 時刻  $t_k$  における航跡  $l$  の予測位置ベクトル (ゲート中心)
- $S_{k,j}^l$  : 残差共分散行列
- $d$  : ゲートサイズパラメータ (自由度3のカイ二乗分布より設定する)

【0099】次に、クラスタ作成部7では、観測ベクトル選択部6より送られてくる選択結果と前時刻までに作成された航跡 (既存航跡と呼ぶ) を基に、まず、航跡を更新する。すなわち、既存航跡と選択結果であるゲート内に得られた各観測ベクトルの組み合わせにより既存航

跡を更新し、また、観測ベクトルを現時刻で新たに現れた目標と見なした新航跡も作成する。なお、新航跡も次時刻では既存航跡として扱われる。ここでは、既存航跡に対し各時刻のゲート内から高々1個の観測ベクトルを選択していくことによって構成される観測ベクトルの時

系列データを航跡と呼ぶ。ある時刻より0個の観測ベクトルを選択する場合は、その時刻で目標の観測ベクトルが探知されなかったことを想定する。この発明では、各目標に対して一般に複数の航跡が作成される。

【0100】例えば、時刻 $t_2$ において航跡更新前に航跡対観測ベクトル対応表11が、

・航跡T1「 $z_{1,1}$ 」、

・航跡T2「 $z_{1,2}$ 」

で、各航跡のゲート内観測ベクトルが、

・航跡T1のゲート内観測ベクトル： $z_{2,1}$ 、 $z_{2,2}$ 、

・航跡T2のゲート内観測ベクトル： $z_{2,2}$ 、 $z_{2,3}$ 、 $z_{2,4}$

のとき、航跡更新後の航跡対観測ベクトル対応表11には、以下の11航跡が記録されている。

・航跡T11「 $z_{1,1}$ 、 $z_{2,1}$ 」、

・航跡T12「 $z_{1,1}$ 、 $z_{2,2}$ 」、

・航跡T13「 $z_{1,1}$ 」、

・航跡T21「 $z_{1,2}$ 、 $z_{2,2}$ 」、

・航跡T22「 $z_{1,2}$ 、 $z_{2,3}$ 」、

・航跡T23「 $z_{1,2}$ 、 $z_{2,4}$ 」、

・航跡T24「 $z_{1,2}$ 」、

・航跡T31「 $z_{2,1}$ 」、

・航跡T32「 $z_{2,2}$ 」、

・航跡T33「 $z_{2,3}$ 」、

・航跡T34「 $z_{2,4}$ 」。

【0101】クラスタ作成部7では、さらに、以下のクラスタの定義に従って既存クラスタの再構成および新クラスタの作成を行う。すなわち、次に示す2つの基準(A)及び(B)に従い、全航跡を複数の集合に分割して、この各集合をクラスタと呼ぶ。クラスタ作成結果は、クラスタ状況データ群9に反映させる。

【0102】(A) 航跡T1と航跡T2が、過去から現時刻に至るまで少なくとも1個の観測ベクトルを共有する場合、航跡T1と航跡T2は同一クラスタとする。

【0103】(B) 航跡T1と航跡T2が同一クラスタで、かつ航跡T2と航跡T3が同一クラスタの場合、航跡T1と航跡T3は同一クラスタである。例えば、上記航跡T11～T34の11航跡は、すべて同一クラスタに含まれる。

【0104】なお、クラスタに分けられた航跡単位で独立に以後の処理を実行することができる。このとき、現時刻 $t_k$ において、あるクラスタ内の全航跡(L個とす

る)に対して観測ベクトル選択部6で選択された観測ベクトルの集合を次のように表す。

【0105】

【数25】

$$Z_k = \{z_{k,1}, z_{k,2}, \dots, z_{k,m_k}\} \quad (46)$$

【0106】次に、仮説作成部8が、各クラスタ内の前時刻の仮説を現時刻の観測ベクトルに対応した新たな仮説に更新するための処理を行う。現時刻の仮説は、前時刻の仮説を拡張することによってできる。一般に、前時刻の1つの仮説から複数の仮説が作成される。

【0107】まず、前時刻の仮説 $X^{k-1,r}$ に含まれる全航跡と、観測ベクトル選択部6で得られたこれらの航跡と相関の可能性のある観測ベクトルの選択結果を用いて、前記選択された観測ベクトルに対して、それぞれ新航跡であるか誤信号であるか相関の可能性のある既存航跡であるかのいずれかを割り当てた相関仮説 $H^{k,s_r}$  ( $s=1, 2, \dots$ ) をすべて作成する。このとき、相関仮説では1つの既存航跡には高々1つの相関可能性のある観測ベクトルが割り当てられるようにする。

【0108】次に、仮説作成部8は、前時刻の仮説 $X^{k-1,r}$ と $X^{k-1,r}$ から作成した相関仮説 $H^{k,s_r}$ とを組み合わせさせて拡張し、現時刻の仮説 $X^{k,i}$ を作成する。このとき、仮説に含まれる航跡は、相関仮説において探知された既存航跡については既存航跡と相関観測ベクトルより更新された航跡、探知されなかった既存航跡は既存航跡そのもの、さらに、相関仮説に含まれる新航跡となる。この結果はクラスタ状況データ群9に反映される。

【0109】このように、この目標追尾装置20では、各仮説が次の時刻でさらに複数の仮説に拡張されていき、仮説の数が次第に増大していく。ただし、各時刻で成立確率(信頼度)の低い仮説を削除することで装置全体の処理規模を一定の範囲に保つことも可能である。

【0110】仮説信頼度算出部21において、クラスタ状況データ群9から各クラスタ内の仮説情報と、ゲート算出部5より各航跡の予測位置および残差共分散行列を入力とし、クラスタ内の仮説 $X^{k,i}$  ( $i=1, 2, \dots, I_k$ ) が成り立つ確率(仮説信頼度)を次式で算出する。

【0111】

【数26】



$$\beta_{k,i} = \Pr \left[ X^{k,i} | Z^k, M^k \right] = \frac{\gamma_{k,i}}{\sum_{i=1}^{I_k} \gamma_{k,i}} \quad (47)$$

$$\begin{aligned} \gamma_{k,i} = & (P_D)^{N_{DT,r}^{k,i}} (1 - P_D P_{G_k})^{N_{TGT,r}^{k,i-1} - N_{DT,r}^{k,i}} (\beta_{FT}^k)^{N_{FT,r}^{k,i}} (\beta_{NT}^k)^{N_{NT,r}^{k,i}} \\ & \times \prod_{j=1}^{N_{DT,r}^{k,i}} g(\underline{z}_k, \underline{z}_{k|k-1}^{I_j}, S_{k,j}^{I_j}) \beta_{k-1,r} \end{aligned} \quad (48)$$

- $\beta_{k,i}$  : 仮説  $X^{k,i}$  が成り立つ確率 (仮説信頼度)
- $X^{k,i}$  : 前時刻  $t_{k-1}$  の仮説  $X^{k-1,r}$  を相関仮説  $H_r^{k,i}$  で拡張してできた仮説
- $\beta_{FT}^k$  : 単位体積あたりの誤信号発生数の平均
- $\beta_{NT}^k$  : 単位体積あたりの新目標発生数の平均
- $P_D$  : 目標観測装置 1 の探知確率
- $P_{G_k}$  : ゲートサイズパラメータ  $d$  より求まる, 対象航跡がゲート内に存在する確率
- $g(\underline{z}; \underline{a}, A)$  : 平均  $\underline{a}$ , 共分散行列  $A$  の 3 変量正規分布の  $\underline{z}$  における確率密度関数
- $N_{FT,r}^{k,i}$  : 相関仮説  $H_r^{k,i}$  において誤信号を採知したものとされた観測ベクトル数
- $N_{NT,r}^{k,i}$  : 相関仮説  $H_r^{k,i}$  において新航跡を採知したものとされた観測ベクトル数
- $N_{DT,r}^{k,i}$  : 相関仮説  $H_r^{k,i}$  において既存航跡を採知したものとされた観測ベクトル数
- $N_{TGT}^{k-1,r}$  : 仮説  $X^{k-1,r}$  に含まれる航跡の数 (既存航跡数)
- $\underline{z}_{k,j}$  ( $j = 1, 2, \dots, N_{DT,r}^{k,i}$ ) : 相関仮説  $H_r^{k,i}$  において既存航跡より採知されたとされた観測ベクトル
- $\underline{z}_{k|k-1}^{I_j}$  : 相関仮説  $H_r^{k,i}$  において観測ベクトル  $\underline{z}_{k,j}$  と相関する航跡  $I_j$  の予測位置
- $S_{k,j}^{I_j}$  : 相関仮説  $H_r^{k,i}$  において観測ベクトル  $\underline{z}_{k,j}$  と相関する航跡  $I_j$  との残差共分散行列

【0112】上記算出された仮説信頼度は、クラスタ状況データ群 9 のクラスタ内仮説表 12 に記録される。

【0113】次に、運動モデルごと予測処理部 14 が、クラスタ状況データ群 9 の平滑諸元ファイル 10 より、すべての航跡に対する前時刻  $t_{k-1}$  の平滑ベクトルと平

滑誤差共分散行列とモデル信頼度を読み出し、次式に従って、現時刻  $t_k$  に対する各航跡の各運動モデルに基づく予測ベクトルと予測誤差共分散行列を算出する。

【0114】

【数 27】

$$\hat{\underline{x}}_{k|k-1,a'}^I = E \left[ \underline{x}_k^I | \Psi_{k,a'}^I, Z^{k-1}, M^{k-1} \right] = \Phi_{k-1} \hat{\underline{x}}_{k-1|k-1}^I + \Gamma_{k-1}^I \underline{\alpha}_{a'}^I \quad (49)$$

$$\begin{aligned} P_{k|k-1}^I = P_{k|k-1,a'}^I &= E \left[ \left( \underline{x}_k^I - \hat{\underline{x}}_{k|k-1,a'}^I \right) \left( \underline{x}_k^I - \hat{\underline{x}}_{k|k-1,a'}^I \right)^T | \Psi_{k,a'}^I, Z^{k-1}, M^{k-1} \right] \\ &= \Phi_{k-1} P_{k-1|k-1}^I \Phi_{k-1}^T + Q_{k-1}^I \end{aligned} \quad (50)$$

- $\hat{\underline{x}}_{k|k-1,a'}^I$  : 現時刻  $t_k$  における航跡  $I$  の運動モデル  $a'$  に基づく予測ベクトル
- $\hat{\underline{x}}_{k-1|k-1}^I$  : 前時刻  $t_{k-1}$  における航跡  $I$  の平滑ベクトル
- $\underline{\alpha}_{a'}^I$  : 運動モデル  $a'$  の定数加速度ベクトル
- $P_{k|k-1}^I = P_{k|k-1,a'}^I$  : 現時刻  $t_k$  における航跡  $I$  の運動モデル  $a'$  に基づく予測誤差共分散行列 (ただし、運動モデルによらない値となる)
- $P_{k-1|k-1}^I$  : 前時刻  $t_{k-1}$  における航跡  $I$  の平滑誤差共分散行列

【0115】モデル信頼度算出部22は、運動モデルごとと予測処理部14から各運動モデルに基づく予測ベクトルと予測誤差共分散行列、クラスタ状況データ群9の平滑諸元ファイル10から各航跡の前時刻 $t_{k-1}$ でのモデル信頼度を入力として、観測ベクトル $z_{k,j}$ が航跡1よ

り探知されるとの仮説 $X^1_{k,j}$ が成り立つとの条件の下で現時刻 $t_k$ のモデル信頼度を算出する。

【0116】

【数28】

$$\beta^l_{k,j,a'} = \Pr[\Psi^l_{k,a'} | X^l_{k,j}, Z^k, M^k] = \frac{\sum_{b'=1}^N g(z_{k,j}; \hat{z}^l_{k|k-1,a'}, S^l_{k,j}) P^l_{a'b'} \beta^l_{k-1,b'}}{\sum_{a'=1}^N \sum_{b'=1}^N g(z_{k,j}; \hat{z}^l_{k|k-1,a'}, S^l_{k,j}) P^l_{a'b'} \beta^l_{k-1,b'}} \quad (51)$$

$$\beta^l_{k,0,a'} = \Pr[\Psi^l_{k,a'} | X^l_{k,0}, Z^k, M^k] = \sum_{b'=1}^N P^l_{a'b'} \beta^l_{k-1,b'} \quad (52)$$

ただし、

$$\hat{z}^l_{k|k-1,a'} = H \hat{x}^l_{k|k-1,a'} \quad (53)$$

$$S^l_{k,j} = H P^l_{k|k-1} H^T + A_{k,j} \quad (54)$$

- $X^l_{k,j}$  ( $j = 1, 2, \dots, m_k$ ): 観測ベクトル  $z_{k,j}$  が航跡  $l$  から探知されるとの仮説
- $X^l_{k,0}$ : 航跡  $l$  が探知されないとの仮説
- $\beta^l_{k,j,a'}$  ( $j = 1, 2, \dots, m_k$ ): 仮説  $X^l_{k,j}$  が成り立つとの条件の下で運動モデルの仮説  $\Psi^l_{k,a'}$  が成り立つ確率
- $\beta^l_{k,0,a'}$ : 仮説  $X^l_{k,0}$  が成り立つとの条件の下で運動モデルの仮説  $\Psi^l_{k,a'}$  が成り立つ確率
- $g(z; \hat{z}, A)$ : 平均  $\hat{z}$ 、共分散行列  $A$  の3変量正規分布の  $z$  における確率密度関数
- $\hat{z}^l_{k|k-1,a'}$ : 現時刻  $t_k$  における航跡  $l$  の運動モデル  $a'$  に基づく予測位置
- $\hat{x}^l_{k|k-1,a'}$ : 現時刻  $t_k$  における航跡  $l$  の運動モデル  $a'$  に基づく予測ベクトル
- $S^l_{k,j}$ : 航跡  $l$  の運動モデル  $a'$  に基づく残差共分散行列 (ただし、運動モデルによらない値となる)
- $P^l_{k|k-1}$ : 時刻  $t_k$  における航跡  $l$  の運動モデル  $a'$  に基づく予測誤差共分散行列
- $P^l_{a'b'}$ : 航跡  $l$  の運動モデルの  $b'$  から  $a'$  への遷移確率
- $\beta^l_{k-1,b'}$ : 前時刻  $t_{k-1}$  における航跡  $l$  のモデル信頼度

【0117】上記算出した観測ベクトルと航跡との仮説の下でのモデル信頼度は、平滑統合処理部24に出力され、また、クラスタ状況データ群9の平滑諸元ファイル10に既存航跡1と観測ベクトル $z_{k,j}$ により更新された航跡のモデル信頼度として記録される。

【0118】次に、運動モデルごと平滑処理部23が、運動モデルごとと予測処理部14から各航跡の各運動モデルに基づいた予測ベクトルおよび予測誤差共分散行列

と、クラスタ状況データ群9の航跡対観測ベクトル対応表11より現時刻で前記航跡と相関する観測ベクトルとを入力とし、前記観測ベクトルが前記航跡から探知されるとの仮説 $X^1_{k,j}$ ごとに、各運動モデルに基づくゲイン行列、平滑ベクトルおよび平滑誤差共分散行列を次式により算出する。

【0119】

【数29】

$$\hat{x}_{k|k,j,a'}^l = E \left[ x_k^l | X_{k,j}^l, \Psi_{k,a'}^l, Z^k, M^k \right] = \hat{x}_{k|k-1,a'}^l + K_{k,j}^l \left[ z_{k,j} - H \hat{x}_{k|k-1,a'}^l \right] \quad (55)$$

$$P_{k|k,j}^l = P_{k|k,j,a'}^l = P_{k|k-1}^l - K_{k,j}^l H P_{k|k-1}^l \quad (56)$$

$$K_{k,j}^l = P_{k|k-1}^l H^T \left[ H P_{k|k-1}^l H^T + R_{k,j} \right]^{-1} \quad (57)$$

- ▷  $\hat{x}_{k|k,j,a'}^l$  : 時刻  $t_k$  において観測ベクトル  $z_{k,j}$  と相関する場合の運動モデル  $a^l$  に基づく平滑ベクトル
- ▷  $\hat{x}_{k|k-1,a'}^l$  : 時刻  $t_k$  における航跡  $l$  の運動モデル  $a^l$  に基づく予測ベクトル
- ▷  $z_{k,j}$  : 航跡  $l$  と相関する観測ベクトル
- ▷  $K_{k,j}^l$  : ゲイン行列
- ▷  $P_{k|k,j}^l = P_{k|k,j,a'}^l$  : 時刻  $t_k$  において観測ベクトル  $z_{k,j}$  が航跡  $l$  より探知される場合の運動モデル  $a^l$  に基づく平滑誤差共分散行列 (ただし, 運動モデルによらない値である)
- ▷  $P_{k|k-1}^l$  : 時刻  $t_k$  における航跡  $l$  の運動モデルに基づく予測誤差共分散行列 (ただし, 運動モデルによらない値である)

【0120】次に、平滑統合処理部24が、モデル信頼度算出部22より仮説  $X_{k,j}^1$  の下でのモデル信頼度と、運動モデルごと平滑処理部23より仮説  $X_{k,j}^1$  の下での各運動モデルに基づく平滑ベクトルおよび平滑誤差共分散行列と、予測処理部4より予測ベクトルおよび予測誤

差共分散行列を入力として、既存航跡1を観測ベクトル  $z_{k,j}$  により更新した航跡の平滑ベクトルおよび平滑誤差共分散行列を次式により算出する。

【0121】

【数30】

$$\hat{x}_{k|k,j}^l = E \left[ x_k^l | X_{k,j}^l, Z^k, M^k \right] = \sum_{a'=1}^N \beta_{k,j,a'}^l \hat{x}_{k|k,j,a'}^l \quad (58)$$

$$\hat{x}_{k|k,0}^l = E \left[ x_k^l | X_{k,0}^l, Z^k, M^k \right] = \hat{x}_{k|k-1}^l \quad (59)$$

$$\begin{aligned} P_{k|k,j}^l &= E \left[ \left( x_k^l - \hat{x}_{k|k,j}^l \right) \left( x_k^l - \hat{x}_{k|k,j}^l \right)^T | X_{k,j}^l, Z^k, M^k \right] \\ &= P_{k|k-1}^l + \sum_{a'=1}^N \beta_{k,j,a'}^l \left( \hat{x}_{k|k,j,a'}^l - \hat{x}_{k|k,j}^l \right) \left( \hat{x}_{k|k,j,a'}^l - \hat{x}_{k|k,j}^l \right)^T \end{aligned} \quad (60)$$

$$P_{k|k,0}^l = E \left[ \left( x_k^l - \hat{x}_{k|k,0}^l \right) \left( x_k^l - \hat{x}_{k|k,0}^l \right)^T | X_{k,0}^l, Z^k, M^k \right] = P_{k|k-1}^l \quad (61)$$

- ▷  $\hat{x}_{k|k,j}^l$  : 時刻  $t_k$  において観測ベクトル  $z_{k,j}$  が航跡  $l$  より探知される場合の平滑ベクトル
- ▷  $\hat{x}_{k|k,0}^l$  : 時刻  $t_k$  において航跡  $l$  が探知されない場合の平滑ベクトル
- ▷  $\beta_{k,j,a'}^l$  : 仮説  $X_{k,j}^l$  が成り立つとの条件の下で運動モデルの仮説  $\Psi_{k,a'}^l$  が成り立つ確率
- ▷  $\hat{x}_{k|k-1}^l$  : 時刻  $t_k$  における航跡  $l$  の予測ベクトル
- ▷  $P_{k|k,j}^l$  : 時刻  $t_k$  において観測ベクトル  $z_{k,j}$  が航跡  $l$  より探知される場合の航跡  $l$  の運動モデル  $a^l$  に基づく平滑誤差共分散行列
- ▷  $P_{k|k,0}^l$  : 時刻  $t_k$  において航跡  $l$  が探知されない場合の航跡  $l$  の平滑誤差共分散行列
- ▷  $P_{k|k,j}^l$  : 時刻  $t_k$  において観測ベクトル  $z_{k,j}$  が航跡  $l$  より探知される場合の航跡  $l$  の運動モデル  $a^l$  に基づく平滑誤差共分散行列 (ただし, 運動モデルによらない値である)
- ▷  $P_{k|k-1}^l$  : 時刻  $t_k$  における航跡  $l$  の予測誤差共分散行列

【0122】上記算出された平滑ベクトルおよび平滑誤差共分散行列は、既存航跡1を観測ベクトル  $z_{k,j}$  によ

り更新した航跡の平滑諸元として、クラスタ状況データ群9の平滑諸元ファイル10に記録される。

【0123】次に、表示用航跡決定部18が、クラスタ状況データ群9のクラスタ内仮説表12に記録されている仮説信頼度を見て、最も仮説信頼度の高い仮説を採用することを決定し、その仮説内の航跡の平滑諸元を航跡表示装置3に出力する。

【0124】そして、航跡表示装置3は、入力された平滑諸元をディスプレイに出力する。

【0125】目標観測装置1で観測ベクトルが得られるたびに、上記一連の動作を追尾終了まで繰り返す。

【0126】以上説明した本発明の実施の形態1の目標追尾装置によれば、モデル信頼度と仮説信頼度を別々に算出するようにしたので、高精度な相関性能と高機動目標への追従性能とを保ったまま、実用的な演算時間で追尾結果を得ることが可能である。

【0127】実施の形態2. この発明の実施の形態2に係る目標追尾装置について図面を参照しながら説明する。図2は、この発明の実施の形態2に係る目標追尾装置の構成を示す図である。

【0128】図2において、上記実施の形態1の図1と同様の構成部分は、同じ符号を付して、再度の説明を省略する。30は本実施の形態2の目標追尾装置、31は

前時刻 $t_{k-1}$ における平滑諸元と運動モデル信頼度より各航跡の現時刻 $t_k$ の平滑諸元を算出する平滑統合処理部（平滑統合処理手段）である。

【0129】つぎに、この実施の形態2に係る目標追尾装置の動作について図面を参照しながら説明する。

【0130】上記実施の形態1との違いは、運動モデルごと平滑処理が存在せず、平滑統合処理部31による平滑統合処理が異なるところなので、平滑統合処理部31の動作についてのみ説明する。

【0131】平滑統合処理部31は、運動モデルごと予測処理部14より時刻 $t_k$ における運動モデルに基づく予測誤差共分散行列、クラスタ状況データ群9の平滑諸元ファイル10より前時刻 $t_k$ における平滑ベクトルおよび平滑誤差共分散行列、モデル信頼度算出部22より観測ベクトルが航跡1より探知されるとの条件の下でのモデル信頼度を入力とし、既存航跡1を観測ベクトル $z_{k,j}$ で更新した航跡の平滑ベクトルおよび平滑誤差共分散行列を次式にしたがって算出する。

【0132】

【数31】

$$\begin{aligned}\hat{x}_{k|k,j}^l &= E \left[ x_k^l | X_{k,j}^l, Z^k, M^k \right] \\ &= \Phi_{k-1} \hat{x}_{k-1|k-1}^l + \Gamma_{k-1}^l \hat{u}_{k-1,j}^l + K_{k,j}^l \left[ z_{k,j} - H \left( \Phi_{k-1} \hat{x}_{k-1|k-1}^l + \Gamma_{k-1}^l \hat{u}_{k-1,j}^l \right) \right] \quad (62)\end{aligned}$$

$$\hat{x}_{k|k,0}^l = E \left[ x_k^l | X_{k,0}^l, Z^k, M^k \right] = \hat{x}_{k|k-1}^l \quad (63)$$

$$\begin{aligned}P_{k|k,j}^l &= E \left[ \left( x_k^l - \hat{x}_{k|k,j}^l \right) \left( x_k^l - \hat{x}_{k|k,j}^l \right)^T | X_{k,j}^l, Z^k, M^k \right] \\ &= P_{k|k,j}^{a^l} + \sum_{a^l=1}^N \beta_{k,j,a^l}^l \left[ \left( \Gamma_{k-1}^l - K_{k,j}^l H \Gamma_{k-1}^l \right) \left( \alpha_{a^l}^l - \hat{u}_{k-1,j}^l \right) \right] \\ &\quad \times \left[ \left( \Gamma_{k-1}^l - K_{k,j}^l H \Gamma_{k-1}^l \right) \left( \alpha_{a^l}^l - \hat{u}_{k-1,j}^l \right) \right]^T \quad (64)\end{aligned}$$

$$P_{k|k,0}^l = E \left[ \left( x_k^l - \hat{x}_{k|k,0}^l \right) \left( x_k^l - \hat{x}_{k|k,0}^l \right)^T | X_{k,0}^l, Z^k, M^k \right] = P_{k|k-1}^l \quad (65)$$

ただし、

$$\hat{u}_{k-1,j}^l = \sum_{a^l=1}^N \beta_{k,j,a^l}^l \alpha_{a^l}^l \quad (66)$$

$$K_{k,j}^l = P_{k|k-1}^l H^T \left[ H P_{k|k-1}^l H^T + R_{k,j} \right]^{-1} \quad (67)$$

- $\hat{x}_{k|k,j}^l$ : 時刻  $t_k$  において観測ベクトル  $z_{k,j}$  が航跡  $l$  より探知される場合の平滑ベクトル
- $\hat{x}_{k|k,0}^l$ : 時刻  $t_k$  において航跡  $l$  が探知されない場合の平滑ベクトル
- $\hat{u}_{k-1,j}^l$ : 仮説  $X_{k,j}^l$  が成り立つとの条件の下での航跡  $l$  の推定加速度ベクトル
- $K_{k,j}^l$ : ゲイン行列
- $\hat{x}_{k-1|k-1}^l$ : 前時刻  $t_{k-1}$  における航跡  $l$  の平滑ベクトル
- $P_{k|k,j}^l$ : 時刻  $t_k$  において観測ベクトル  $z_{k,j}$  が航跡  $l$  より探知される場合の運動モデル  $a^l$  に基づく平滑誤差共分散行列
- $P_{k|k,0}^l$ : 時刻  $t_k$  において航跡  $l$  が探知されない場合の平滑誤差共分散行列
- $P_{k|k,j}^{a^l}$ : 時刻  $t_k$  において観測ベクトル  $z_{k,j}$  が航跡  $l$  より探知される場合の航跡  $l$  の運動モデル  $a^l$  に基づく平滑誤差共分散行列 (ただし、運動モデルによらない値である)
- $\beta_{k,j,a^l}^l$ : 仮説  $X_{k,j}^l$  が成り立つとの条件の下で運動モデルの仮説  $\Psi_{k,a^l}^l$  が成り立つ確率
- $P_{k|k-1}^l$ : 時刻  $t_k$  における航跡  $l$  の予測誤差共分散行列

【0133】上記算出した平滑ベクトルおよび平滑誤差共分散行列はクラスタ状況データ群9の平滑諸元ファイル10に記録される。

【0134】以上説明した本発明の実施の形態2の目標追尾装置によれば、運動モデルごと平滑処理部を省略し、平滑統合処理部31において平滑ベクトルと平滑誤差共分散行列を直接計算するようにしたので、追尾処理の演算時間が更に短縮される効果がある。

【0135】実施の形態3. この発明の実施の形態3に係る目標追尾装置について図面を参照しながら説明する。図3は、この発明の実施の形態3に係る目標追尾装置の構成を示す図である。

【0136】図3において、上記実施の形態2の図2と同様の構成部分は、同じ符号を付して、再度の説明を省略する。40は本実施の形態3の目標追尾装置、41はクラスタ状況データ群9を参照して、追尾の初期状態に

ある航跡に対して運動モデルを等速直線運動モデルのみに限定する機能を持つ初期追尾判定部(初期追尾判定手段)である。

【0137】つぎに、この実施の形態3に係る目標追尾装置の動作について図面を参照しながら説明する。

【0138】上記実施の形態2との違いは、初期追尾判定部41を持つという部分のみであるので、初期追尾判定部41の動作についてのみ説明する。なお、初期追尾判定部41は、上記実施の形態1にも適用できる。

【0139】時刻  $t_k$  において、目標観測装置1から観測ベクトル  $z_{k,j}$  ( $j=1, 2, \dots$ ) が入力されたあと、予測処理部4による予測処理を行う前に初期追尾判定部41により初期追尾判定を行う。

【0140】この初期追尾判定は、クラスタ状況データ群9の航跡対観測ベクトル対応表11において航跡を構成する観測ベクトル数があるしきい値以下である場合

に、この航跡を追尾初期段階であると判定する。さらに、追尾初期段階と判定した航跡について、平滑諸元ファイル10に記録されているモデル信頼度を等速直線運動モデルについて1とし、運動モデル数Nを1とする。

【0141】以上説明した本発明の実施の形態3の目標追尾装置によれば、追尾初期判定部41を備え、追尾の初期状態にある航跡に対して運動モデルを等速直線運動モデルのみに限定するようにしたので、モデル信頼度に対する観測雑音の影響が大きい追尾初期状態において追尾精度の劣化を抑えることができる。

【0142】実施の形態4. この発明の実施の形態4に係る目標追尾装置について図面を参照しながら説明する。図4は、この発明の実施の形態4に係る目標追尾装置の構成を示す図である。

【0143】図4において、上記実施の形態2の図2と同様の構成部分は、同じ符号を付して、再度の説明を省略する。50は本実施の形態4の目標追尾装置、51はモデル信頼度算出部22により算出されたモデル信頼度に基づいて、モデル信頼度の精度が観測雑音に乱されて

いると判断される場合にモデル信頼度を修正するモデル信頼度修正部（モデル信頼度修正手段）である。

【0144】つぎに、この実施の形態4に係る目標追尾装置の動作について図面を参照しながら説明する。

【0145】上記実施の形態2との違いは、モデル信頼度修正部51を持つという部分のみであるので、モデル信頼度修正部51の動作についてのみ説明する。なお、モデル信頼度修正部51は、上記実施の形態1にも適用できる。

【0146】モデル信頼度算出部22により運動モデル信頼度を算出した後、モデル信頼度修正部51は、前記モデル信頼度算出部22よりモデル信頼度を入力し、以下の方法にしたがってモデル信頼度を修正する。

【0147】航跡が直進していると考えられる場合（例えば、モデル信頼度がいずれの運動モデルに対しても等しくなっているような場合）に、次式にしたがい修正を行う。

【0148】

【数32】

$$\beta_{k,j,a'} = \max \{ \beta_{k,j,a'} - \beta_{k,j,1}, 0 \} \quad (a' = 2, 3, \dots, N) \quad (68)$$

$$\beta_{k,j,1} = 1 - \sum_{a'=2}^N \beta_{k,j,a'} \quad (69)$$

- $\beta_{k,j,a'}$  : 修正後のモデル信頼度
- $\beta_{k,j,1}$  : 入力された等速直線運動モデルのモデル信頼度
- $\beta_{k,j,a'} \quad (a' = 2, 3, \dots, N)$  : 入力されたその他の運動モデルのモデル信頼度

【0149】上記修正したモデル信頼度を平滑統合処理部31およびクラスタ状況データ群9の平滑諸元ファイル10に出力する。

【0150】以上説明した本発明の実施の形態4の目標追尾装置によれば、モデル信頼度修正部51を備えたので、観測雑音に乱されてモデル信頼度の精度が劣化していると判断された場合にモデル信頼度を修正し、追尾精度の劣化を防ぐことができる。

【0151】実施の形態5. この発明の実施の形態5に係る目標追尾装置について図面を参照しながら説明する。図5は、この発明の実施の形態5に係る目標追尾装置の構成を示す図である。

【0152】図5において、上記実施の形態2の図2と同様の構成部分は、同じ符号を付して、再度の説明を省略する。60は本実施の形態5の目標追尾装置、61はあらかじめ与えられた目標の位置、速度の初期値に基づき各目標ごとのクラスタを設置しクラスタ状況データ群9の初期値を設定する初期値設定部、64はクラスタごとに仮説信頼度に基づいて仮説を1つに統合する仮説統合部、65は仮説統合部64で統合されたクラスタごとに1つの仮説をクラスタ状況データ群9に設定して、残りのすべての仮説を削除する統合仮説設定部である。なお、初期値設定部61、仮説統合部64、統合仮説設定部65は、上記実施の形態1にも適用できる。

【0153】つぎに、この実施の形態5に係る目標追尾装置の動作について図面を参照しながら説明する。

【0154】運動モデルは従来例と同じ設定を使用するが、観測モデルについては、各時刻においてクラスタ内の観測ベクトルの観測誤差共分散行列は次式のようにすべて等しいとする。

【0155】

【数33】

$$R_{k,j} = R_k \quad (70)$$

【0156】また、本実施の形態5の目標追尾装置は追尾維持のみを行うものとする。すなわち、新目標の発生を考慮しないので、単位体積あたりの新目標発生数の平均 $\beta_{NT}^k$ は0とする

【0157】まず、初期値設定部61によりあらかじめ与えられた目標の位置、速度の初期値に基づき各目標ごとのクラスタを設置しクラスタ状況データ群9の初期値を設定することにより、追尾処理が開始される。

【0158】初期値設定部61は、各目標のクラスタ内状況データ群9において、平滑諸元ファイル10に以下に示すこの目標の平滑ベクトルの初期値、平滑誤差共分散行列の初期値およびモデル信頼度の初期値を設定し、また航跡対観測ベクトル対応表11に1つの初期航跡を定義する。ただし、この段階では、まだ1度も観測ベク

トルを入力していないため、この初期航跡1に属する観測ベクトルには航跡1ごとに異なるダミーの観測ベクトルを入れて「 $z_{0,1}$ 」としておく。次に、クラスタ内仮説表12に1つの仮説を定義し、この仮説に対する仮説内航跡表13には、上記初期航跡を含むと定義する。以上のような初期設定を行った後、 $k=1, 2, \dots$ の各時刻ごとの処理を開始する。上記初期設定は、最初の1回のみ実行する。

【0159】

【数34】

- ・  $\hat{z}_{0,0}^l$ : 目標 $l$ の平滑ベクトルの初期値
- ・  $P_{0,0}^l$ : 目標 $l$ の平滑誤差共分散行列の初期値
- ・  $\rho_{0,0}^l$ : 目標 $l$ のモデル信頼度の初期値

【0160】時刻 $t_k$ において、目標観測装置1から観測ベクトル $z_{k,j}$  ( $j=1, 2, \dots$ )が入力されると、上記実施の形態2と同様に、予測処理部4による各航跡1の現時刻 $t_k$ に対する予測ベクトルと予測誤差共分散行列の算出、ゲート算出部5による観測誤差共分散行列の設定および観測ベクトルの存在期待領域であるゲートの算出、観測ベクトル選択部6による各航跡に相関可能な観測ベクトルの決定を順次実行する。

【0161】次に、クラスタ作成部62では、観測ベクトル選択部6より送られてくる選択結果と既存航跡を基に、まず、航跡を更新する。すなわち、既存航跡と選択結果であるゲート内に得られた各観測ベクトルの組み合わせにより既存航跡を更新する。ここでは、既存航跡に対し各時刻のゲート内から高々1個の観測ベクトルを選択していくことによって構成される観測ベクトルのデータを航跡と呼ぶ。ある時刻より0個の観測ベクトルを選択する場合は、その時刻で目標の観測ベクトルが探知されなかったことを想定する。既存航跡1は各時刻の処理の最後にすべて「 $z_{0,1}$ 」にリセットされるため、各目標に対して各目標のゲート内に得られた観測ベクトルの数+1の航跡が作成される。

【0162】例えば、航跡更新前に航跡対観測ベクトル対応表11が、

- ・ 航跡T1「 $z_{0,1}$ 」、
- ・ 航跡T2「 $z_{0,2}$ 」

で、各航跡のゲート内観測ベクトルが、

- ・ 航跡T1のゲート内観測ベクトル:  $z_{k,1}$ 、 $z_{k,2}$ 、
- ・ 航跡T2のゲート内観測ベクトル:  $z_{k,2}$ 、 $z_{k,3}$ 、 $z_{k,4}$

のとき、航跡更新後の航跡対観測ベクトル対応表11には、以下の7航跡が記録されている。

- ・ 航跡T11「 $z_{0,1}$ 、 $z_{k,1}$ 」、
- ・ 航跡T12「 $z_{0,1}$ 、 $z_{k,2}$ 」、
- ・ 航跡T13「 $z_{0,1}$ 」、
- ・ 航跡T21「 $z_{0,2}$ 、 $z_{k,2}$ 」、

- ・ 航跡T22「 $z_{0,2}$ 、 $z_{k,3}$ 」、
- ・ 航跡T23「 $z_{0,2}$ 、 $z_{k,4}$ 」、
- ・ 航跡T24「 $z_{0,2}$ 」。

【0163】クラスタ作成部62では、さらに、以下のクラスタの定義に従って既存クラスタの再構成および新クラスタの作成を行う。すなわち、次に示す2つの基準(A)及び(B)に従い、全航跡を複数の集合に分割してこの各集合をクラスタと呼ぶ。クラスタ作成結果は、クラスタ状況データ群9に反映させる。

【0164】(A) 航跡T1と航跡T2が、過去から現時刻に至るまで少なくとも1個の観測ベクトルを共有する場合、航跡T1と航跡T2は同一クラスタとする。

【0165】(B) 航跡T1と航跡T2が同一クラスタで、かつ航跡T2と航跡T3が同一クラスタの場合、航跡T1と航跡T3は同一クラスタである。

【0166】次に、仮説作成部63が、各クラスタ内の前時刻の1個の仮説を現時刻の観測ベクトルに対応した新たな仮説に更新するための処理を行う。現時刻の仮説は、前時刻の仮説を拡張することによってできる。一般に、前時刻の1つの仮説から複数の仮説が作成される。

【0167】仮説の作成の方法は、上記実施の形態2とほぼ同様であるが、新目標の発生は考えないので、相関仮説は各航跡のゲート内観測ベクトルが誤信号であるか相関の可能性のある既存航跡であるかのいずれかを割り当てたものとなる。

【0168】以後、上記実施の形態2と同様に、仮説信頼度算出部21、運動モデルごと予測処理部14、モデル信頼度算出部22、平滑統合処理部31の順で処理を行う。

【0169】こうして算出された平滑ベクトルおよび平滑誤差共分散行列は、既存航跡1を観測ベクトル $z_{k,j}$ により更新した航跡の平滑諸元として、クラスタ状況データ群9の平滑諸元ファイル10に記録される。

【0170】次に、仮説統合部64が、平滑諸元ファイル10から各航跡の平滑諸元を、クラスタ内仮説表12から仮説信頼度を読み出し、各クラスタごとに、1つの既存航跡から更新された各航跡の平滑諸元を仮説信頼度に基づいて統合し既存航跡に対する現時刻 $t_k$ における1つの平滑諸元を算出する。この算出された平滑諸元は、統合仮説設定部65と航跡表示装置3に出力される。なお、全クラスタ内の既存航跡の数は常に一定で、追尾開始前に初期値設定部61により設定した数である。

【0171】上記仮説統合部64での既存仮説の平滑諸元は以下のようにして求める。なお、クラスタ内の既存航跡数は $L$ 個、観測ベクトルは $m_k$ 個、仮説数は $I_k$ 個とする。

【0172】

【数35】

$$\beta_k^{l,j} = \sum_{i=1}^{l_k} \beta_{k,i} \omega_{j,i}^{k,j} \quad (71)$$

$$\beta_k^{l,0} = 1 - \sum_{j=1}^{m_k} \beta_k^{l,j} \quad (72)$$

$$\hat{x}_{k|k}^l = \sum_{j=0}^{m_k} \beta_k^{l,j} \hat{x}_{k|k,j}^l \quad (73)$$

$$P_{k|k}^l = \sum_{j=0}^{m_k} \beta_k^{l,j} \left\{ P_{k|k,j}^l + (\hat{x}_{k|k,j}^l - \hat{x}_{k|k}^l) (\hat{x}_{k|k,j}^l - \hat{x}_{k|k}^l)^T \right\} \quad (74)$$

$$\beta_{k,a'}^l = \sum_{j=1}^{m_k} \beta_k^{l,j} \beta_{k,j,a'}^l \quad (75)$$

- ・  $\beta_k^{l,j}$  : 観測ベクトル  $z_{k,j}$  が既存航跡  $l$  の探知データである確率
- ・  $\beta_k^{l,0}$  : 既存航跡  $l$  が探知されない確率
- ・  $\beta_{k,i}$  : 仮説  $X^{k,i}$  の仮説信頼度
- ・  $\omega_{j,i}^{k,j}$  : 仮説  $X^{k,i}$  において観測ベクトル  $z_{k,j}$  が既存航跡  $l$  の探知データであるならば 1, それ以外なら 0
- ・  $\hat{x}_{k|k}^l$  : 既存航跡  $l$  の時刻  $t_k$  における平滑ベクトル
- ・  $P_{k|k}^l$  : 既存航跡  $l$  の時刻  $t_k$  における平滑誤差共分散行列
- ・  $\hat{x}_{k|k,j}^l$  : 既存航跡  $l$  を観測ベクトル  $z_{k,j}$  で更新した航跡の時刻  $t_k$  における平滑ベクトル
- ・  $P_{k|k,j}^l$  : 既存航跡  $l$  を観測ベクトル  $z_{k,j}$  で更新した航跡の時刻  $t_k$  における平滑誤差共分散行列
- ・  $\beta_{k,a'}^l$  : 既存航跡  $l$  の時刻  $t_k$  におけるモデル信頼度
- ・  $\beta_{k,j,a'}^l$  : 既存航跡  $l$  を観測ベクトル  $z_{k,j}$  で更新した航跡の時刻  $t_k$  におけるモデル信頼度

【0173】次に、統合仮説設定部65が仮説統合部64で統合された各クラスタにつき1個の統合仮説を残し、他のすべての仮説を削除する。すなわち、各クラスタごとにクラスタ状況データ群9の航跡対観測ベクトル対応表11を既存航跡の初期値のみに戻し、平滑諸元ファイル10の内容は仮説統合部64から入力された既存航跡に対する平滑諸元で置き換えられる。また、現時刻で作成されている仮説をすべて削除し、前記既存航跡を含む仮説を1個作成して保存する。これをクラスタ内仮説表12と仮説内航跡表13に反映する。

【0174】そして、航跡表示装置3は、入力された平滑諸元をディスプレイに出力する。

【0175】目標観測装置1で観測ベクトルが得られるたびに、上記一連の動作を追尾終了まで繰り返す。

【0176】以上説明した本発明の実施の形態5の目標追尾装置によれば、初期値設定部61を備え、クラスタ作成部62と仮説作成部63で新航跡を作らないようにして、あらかじめ決められた目標のみを追尾するようにしたので、既追尾目標の追尾維持機能に限定した目標追尾装置が実現できる。

【0177】また、仮説統合部64を備え、各時刻で仮説を1つに統合することによって、各追尾目標に対して

相関や運動モデルの可能性を統合した最適な平滑諸元を算出することができる。

【0178】さらに、統合仮説設定部65を備え、クラスタにつき1個の統合仮説しか保存しないようにしたので、仮説信頼度を算出すべき仮説の数を抑え演算量を大幅に削減することができる。

【0179】

【発明の効果】この発明の請求項1に係る目標追尾装置は、以上説明したとおり、クラスタ毎に定義され、クラスタ内の各航跡に対する平滑ベクトル、平滑誤差共分散行列、及びモデル信頼度の値を格納する平滑諸元ファイル、クラスタ内の各航跡に対して航跡を構成する観測ベクトルを示した航跡対観測ベクトル対応表、クラスタ内の全ての仮説及び仮説信頼度を示したクラスタ内仮説表、並びにクラスタ内のそれぞれの仮説を構成する航跡を示した仮説内航跡表を有するクラスタ状況データ群と、前記平滑諸元ファイルの平滑ベクトル、平滑誤差共分散行列、及びモデル信頼度に基づいて、全クラスタに含まれる全航跡に対して次の観測ベクトル入力時刻における予測ベクトル及び予測誤差共分散行列を算出する予測処理手段と、前記算出された予測ベクトル及び予測誤差共分散行列に基づいて、全クラスタに含まれる全航跡



に対して観測ベクトルの存在期待領域であるゲートを算出するゲート算出手段と、観測された観測ベクトル全体から前記航跡の各々に対し前記算出されたゲート内に存在する観測ベクトルを選択する観測ベクトル選択手段と、前記観測ベクトル選択手段による選択結果、及び各クラスタに含まれる各航跡の前時刻までの観測ベクトルの構成に基づいて、前記航跡対観測ベクトル対応表を更新し、クラスタの統合、分離を行うことによってクラスタを構成するクラスタ作成手段と、前記観測ベクトル選択手段による選択結果、及び各クラスタ内の前時刻までの仮説の状態に基づいて、現時刻の観測ベクトルに対応した新たな仮説を作成し、前記クラスタ内仮説表、及び前記仮説内航跡表を更新する仮説作成手段と、前記ゲート算出手段からのゲート中心位置及び残差共分散行列、前記航跡対観測ベクトル対応表の各航跡のゲート内観測ベクトル、並びに前記クラスタ内仮説表の前時刻における仮説信頼度に基づいて、各仮説の成立する確率を仮説信頼度として算出して前記クラスタ内仮説表を更新する仮説信頼度算出手段と、前記平滑諸元ファイルの平滑ベクトル、平滑誤差共分散行列、及びモデル信頼度に基づいて、全クラスタに含まれる全航跡に対して、あらかじめ設定した各運動モデルが真であるとの条件の下で、次の観測ベクトル入力時刻における運動モデルに基づいた予測ベクトル及び予測誤差共分散行列を算出する運動モデルごと予測処理手段と、前記運動モデルごと予測処理手段からの各航跡の運動モデルに基づく予測ベクトル及び予測誤差共分散行列、前記平滑諸元ファイルの前時刻における各航跡のモデル信頼度、並びに前記航跡対観測ベクトル対応表の各航跡のゲート内観測ベクトルに基づいて、全クラスタに含まれる全航跡に対して、航跡の運動が各運動モデルに合致する確率をモデル信頼度として算出して前記平滑諸元ファイルを更新するモデル信頼度算出手段と、前記運動モデルごと予測処理手段からの各航跡の運動モデルに基づく予測ベクトル及び予測誤差共分散行列、並びに前記航跡対観測ベクトル対応表の各航跡のゲート内観測ベクトルに基づいて、各航跡がゲート内の各観測ベクトルと相関するとの仮定の下で、それぞれの運動モデルに従って運動を行う場合の平滑ベクトル及び平滑誤差共分散行列を算出する運動モデルごと平滑処理手段と、前記予測処理手段からの予測ベクトル及び予測誤差共分散行列、前記モデル信頼度算出手段からのモデル信頼度、並びに前記運動モデルごと平滑処理手段からの運動モデルごとの平滑ベクトル及び平滑誤差共分散行列に基づいて、各航跡に対して平滑ベクトル及び平滑誤差共分散行列を1つにまとめて前記平滑諸元ファイルを更新する平滑統合処理手段と、各クラスタ内に複数の仮説がある場合に、前記クラスタ内仮説表の仮説信頼度に基づいて最も信頼度の高い仮説を選択し、前記最も信頼度の高い仮説内の航跡の平滑ベクトル及び平滑誤差共分散行列を出力する表示用航跡決定手段とを備えたの

で、高精度な相関性能と高機動目標への追従性能とを保持したまま、実用的な演算時間で追尾結果を得ることができるという効果を奏する。

【0180】また、この発明の請求項2に係る目標追尾装置は、以上説明したとおり、前記運動モデルごと平滑処理手段を削除し、前記平滑統合処理手段は、前記運動モデルごと平滑処理手段からの運動モデルごとの平滑ベクトル及び平滑誤差共分散行列の代わりに、前記運動モデルごと予測処理手段からの運動モデルに基づく予測誤差共分散行列、並びに前記平滑諸元ファイルの前時刻における平滑ベクトル及び平滑誤差共分散行列を利用して、直接現時刻の平滑ベクトル及び平滑誤差共分散行列を算出するので、追尾処理の演算時間を更に短縮することができるという効果を奏する。

【0181】また、この発明の請求項3に係る目標追尾装置は、以上説明したとおり、前記予測処理手段による予測処理を行う前に、前記航跡対観測ベクトル対応表に基づいて、追尾初期状態にある航跡に対しては運動モデル数を1個、追尾維持状態にある航跡に対しては運動モデル数をN個に切り替える初期追尾判定手段をさらに備えたので、モデル信頼度に対する観測雑音の影響が大きい追尾初期状態において追尾精度の劣化を抑えることができるという効果を奏する。

【0182】また、この発明の請求項4に係る目標追尾装置は、以上説明したとおり、観測雑音に乱されて前記算出されたモデル信頼度の精度が劣化していると判断する場合には前記算出されたモデル信頼度を修正して前記平滑諸元ファイルを更新するモデル信頼度修正手段をさらに備え、前記平滑統合処理手段は、前記モデル信頼度算出手段からのモデル信頼度の代わりに、前記モデル信頼度修正手段からの修正されたモデル信頼度を利用するので、追尾精度の劣化を防ぐことができるという効果を奏する。

【0183】また、この発明の請求項5に係る目標追尾装置は、以上説明したとおり、あらかじめ与えられた各目標の位置、速度の初期推定値に基づいて、各目標ごとのクラスタを設置し前記クラスタ状況データ群の初期値を設定する初期値設定手段をさらに備え、前記クラスタ作成部及び前記仮説作成部において新目標の発生を考慮しないようにしたので、既追尾目標の追尾維持機能に限定することができるという効果を奏する。

【0184】さらに、この発明の請求項6に係る目標追尾装置は、以上説明したとおり、前記表示用航跡決定手段の代わりに、前記平滑諸元ファイルからの各航跡の平滑ベクトル、平滑誤差共分散行列、及びモデル信頼度、並びに前記クラスタ内仮説表からの仮説信頼度に基づいて、クラスタごとに仮説を1つに統合し、追尾目標に対して1つの統合された平滑ベクトル、平滑誤差共分散行列、及びモデル信頼度を算出する仮説統合手段と、各クラスタごとに前記航跡対観測ベクトル対応表を既存航跡

の初期値のみに戻し、前記平滑諸元ファイルの内容は前記仮説統合部からの既存航跡に対する平滑ベクトル、平滑誤差共分散行列、及びモデル信頼度で置き換え、前記統合された1つの仮説のみを持つように前記クラス内仮説表及び前記仮説内航跡表を更新する統合仮説設定手段を備えたので、各追尾目標に対して相関や運動モデルの可能性を統合した最適な平滑諸元を算出することができ、また、仮説信頼度を算出すべき仮説の数を抑え演算量を大幅に削減することができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施の形態1に係る目標追尾装置の構成を示す図である。

【図2】 この発明の実施の形態2に係る目標追尾装置の構成を示す図である。

【図3】 この発明の実施の形態3に係る目標追尾装置の構成を示す図である。

【図4】 この発明の実施の形態4に係る目標追尾装置の構成を示す図である。

【図5】 この発明の実施の形態5に係る目標追尾装置

の構成を示す図である。

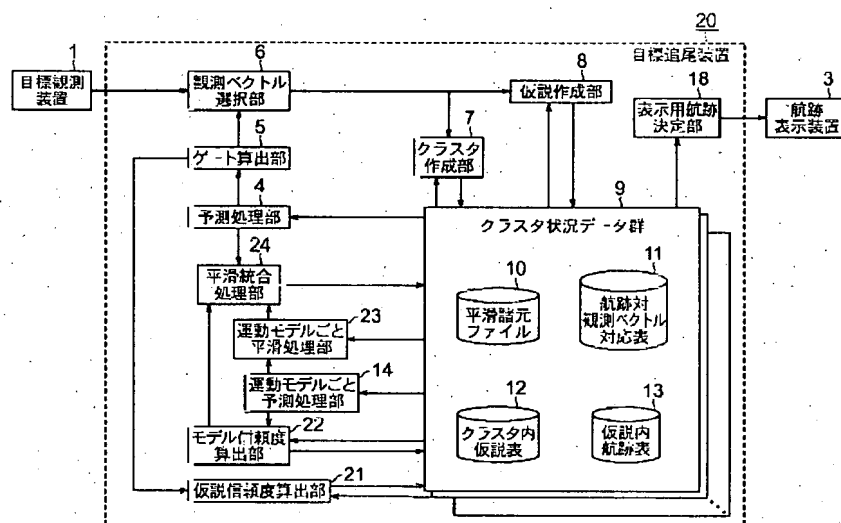
【図6】 従来の目標追尾装置の構成を示す図である。

【図7】 定数加速度ベクトルを説明する図である。

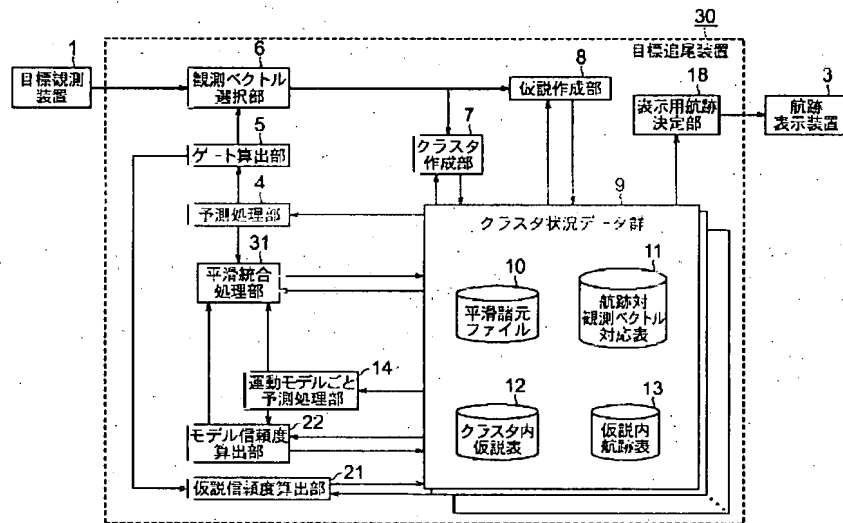
【符号の説明】

1 目標観測装置、3 航跡表示装置、4 予測処理部、5 ゲート算出部、6 観測ベクトル選択部、7 クラスタ作成部、8 仮説作成部、9 クラスタ状況データ群、10 平滑諸元ファイル、11 航跡対観測ベクトル対応表、12 クラスタ内仮説表、13 仮説内航跡表、14 運動モデルごと予測処理部、18 表示用航跡決定部、20 目標追尾装置、21 仮説信頼度算出部、22 モデル信頼度算出部、23 運動モデルごと平滑処理部、24 平滑統合処理部、30 目標追尾装置、31 平滑統合処理部、40 目標追尾装置、41 初期追尾判定部、50 目標追尾装置、51 モデル信頼度修正部、60 目標追尾装置、61 初期値設定部、62 クラスタ作成部、63 仮説作成部、64 仮説統合部、65 統合仮説設定部。

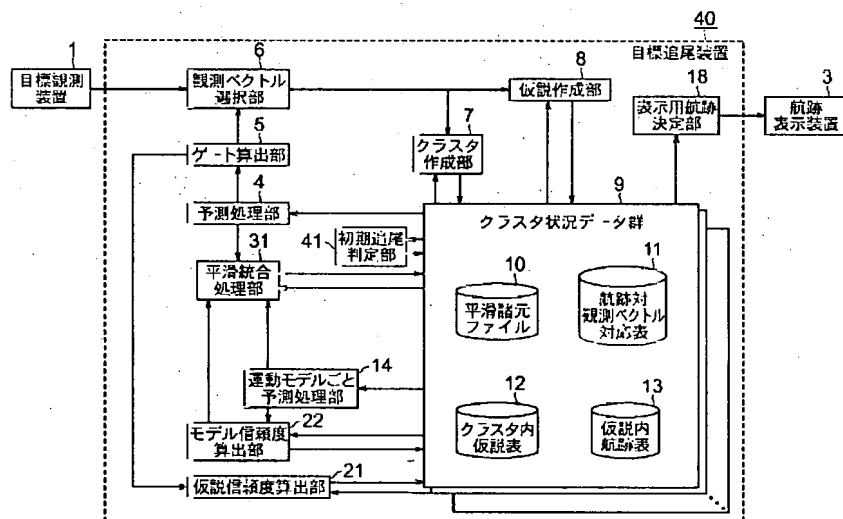
【図1】



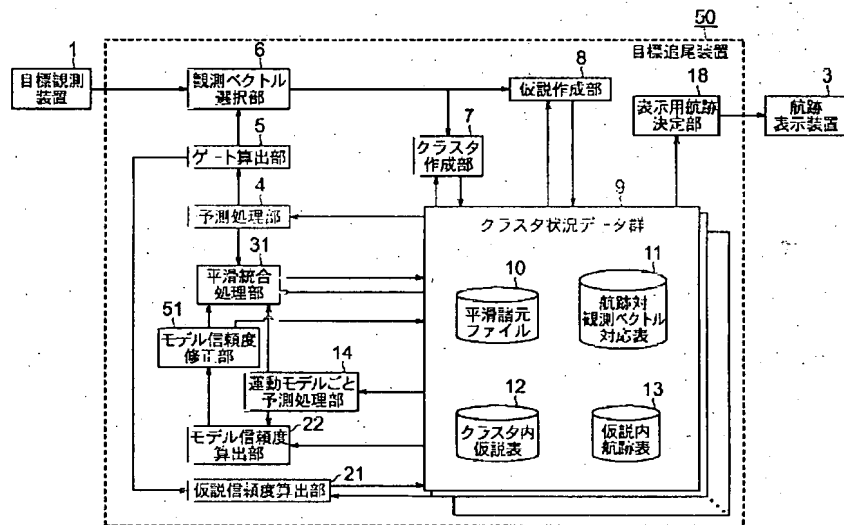
【図2】



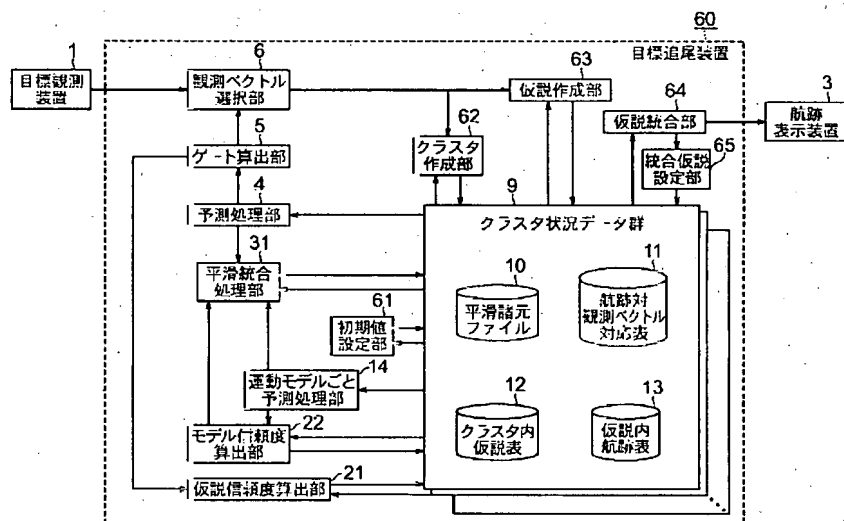
【図3】



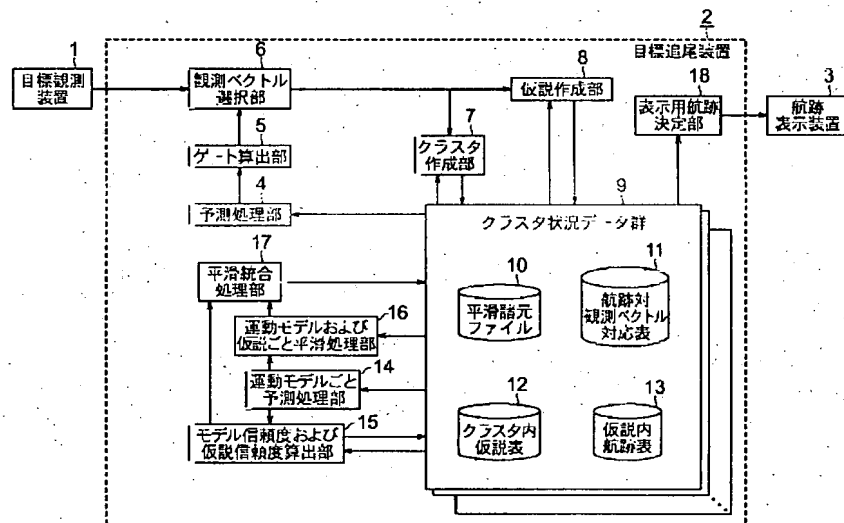
【図4】



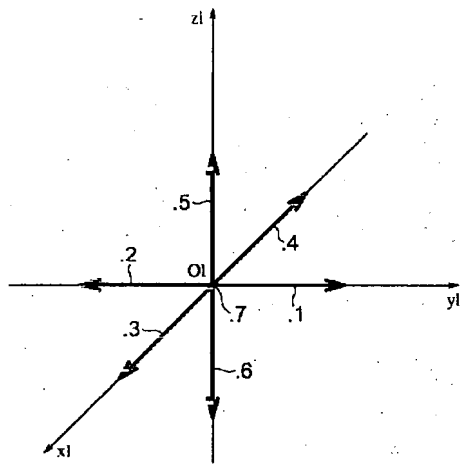
【図5】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

(72)発明者 小菅 義夫  
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三  
菱電機株式会社内

Fターム(参考) 5J070 AC01 AC06 AE02 AE04 AH04  
AH19 AK14 AK22 BB05 BB06